



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

# Configuração e Balanceamento de Linhas de Produção Flexíveis

---

**Ana Filipa Espírito Santo Martins Pereira**

*Dissertação submetida para a satisfação  
dos requisitos do grau de mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial*

Trabalho realizado sob orientação da Professora  
Doutora Alexandra Tenera do Departamento de  
Engenharia Mecânica e Industrial da Faculdade de  
Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

**Lisboa, 2010**

# Agradecimentos

---

Para a realização desta dissertação muitas foram as pessoas que contribuíram. Deste modo, gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos:

À minha professora orientadora, Professora Doutora Alexandra Tenera, pelo apoio e orientação ao longo de todo este trabalho.

A todos os professores que me acompanharam ao longo do meu percurso académico pelas diferentes aprendizagens que me proporcionaram.

À Professora Doutora Ana Sofia Simaria por toda a sua ajuda e disponibilidade no desenvolvimento do trabalho de investigação.

Ao Engenheiro Fernando Pinto Basto pela possibilidade de desenvolver esta dissertação na empresa em questão.

A todos os colaboradores da empresa em estudo pelo acompanhamento, apoio, disponibilidade e fornecimento da informação necessária para o desenvolvimento desta dissertação. Em especial gostaria de agradecer a equipa de estágio integrada: Joaquim Dias, Dora Baêta, José Gonçalves, Elisabete Ferreira, Paulo Fonseca e Rodrigo Saraiva.

A todos os meus amigos pelo apoio e incentivo nos momentos mais difíceis.

Por fim e não menos importante, gostaria de agradecer aos meus pais e à minha irmã por todo o apoio ao longo da realização desta dissertação.

O mercado actual caracteriza-se por ser um mercado extremamente competitivo onde corresponder às expectativas do cliente se tornou uma lei de sobrevivência. Neste sentido, as indústrias viram-se obrigadas a desenvolver mais e novos métodos de produção. Os novos métodos desenvolvidos visam não só satisfazer os requisitos dos clientes, mas também, melhorar o processo produtivo de forma a tornar as indústrias mais competitivas e dinâmicas no mercado onde estas se inserem.

A indústria automóvel representa um dos mercados onde a competitividade é bastante elevada. Uma das tácticas utilizadas por este sector consiste na alteração das linhas de montagem existentes de forma a torná-las mais flexíveis uma vez que estas necessitam de produzir mais e novos modelos de produtos. As linhas de montagem que permitem a este tipo de indústrias aumentar os seus níveis de flexibilidade e, desta forma, a satisfazerem as necessidades do mercado actual, denominam-se como linhas de montagem mix-modelos. A alteração e adaptação destas linhas de montagem ao mercado actual podem implicar não só um rebalanceamento das mesmas, como também, a modificação do seu *layout*.

Desta forma, a presente dissertação tem como principal objectivo o desenvolvimento de um procedimento de configuração e balanceamento de linhas de montagem mix-modelos. Nesta dissertação foi possível, também, identificar algoritmos de balanceamento deste tipo de linhas de montagem de forma a no final ser possível comparar os resultados obtidos e identificar possíveis pontos de melhoria no balanceamento efectuado.

**Palavras-chave:** Flexibilidade, Configurações, Balanceamento de Linhas de Montagem, Linhas de montagem mix-modelos, Indústria Automóvel

The current market is characterized by being an extremely competitive market in which customer satisfaction expectations has become the law of survival. In this sense, the industries have been forced to develop more and new methods of production. The methods developed aim not only to satisfy customers' requirements, but also, improve the production process in order to make the company more competitive and dynamic in market area that it serves.

The automotive industry represents a market where competition is extremely high. One of the tactics used by automotive industry is the modification of existing assembly lines in order to make them more flexible as they need to produce more and new types of products. The assembly lines that allow automotive industries to increase their levels of flexibility and, thus, to satisfied the needs of today's market, are called as model-mix assembly line. The changes of assembly line for adaptation them to the current market may not only involve a rebalancing of the same, but also, a change of layout.

Therefore, this dissertation has main objective, the development of a procedure for setting up and balancing of mix-models assembly lines. This dissertation was, also, possible to identify balancing algorithms of this type of assembly lines in order to compare the final results and identify possible points of improvement in the review.

**Keywords:** Flexibility, Layouts, Balancing Assembly Lines, Mix-Model Assembly Line, Automotive Industry

## Lista de Abreviaturas

---

<b>2-ALBP</b> .....	2-Sided Assembly Line Balancing Problem
<b>E</b> .....	<i>Either Side</i>
<b>IDEF</b> .....	<i>Integration Definition for Function Modeling</i>
<b>JIT</b> .....	<i>Just-in-Time</i>
<b>L</b> .....	<i>Left Side</i>
<b>MALBP</b> .....	<i>Mix-Model Assembly Line Balancing Problem</i>
<b>MOALBP</b> .....	Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem
<b>RALBP</b> .....	<i>Robotic Assembly Line Balancing Problem</i>
<b>R</b> .....	<i>Right Side</i>
<b>SALBP</b> .....	<i>Single Assembly Line Balancing Problem</i>
<b>TT</b> .....	<i>Takt Time</i>
<b>UALBP</b> .....	U-Shaped Assembly Line Balancing Problem

# Nomenclatura

---

<b>2-Sided Assembly Line Balancing Problem</b> .....	Linha de Montagem de 2 Lados
<b>Cellular Layout</b> .....	Layout Celular
<b>Dedicated Automatic Assembly Line</b>	Linha de Montagem Puramente Automática
<b>Either Side</b> .....	Qualquer um dos lados
<b>Feeder Line</b> .....	Linha de Pré-Montagem
<b>Fixed Product Layout</b> .....	Layout por Ponto Fixo
<b>Flexibel Automatic Assembly Line</b> ...	Linha de Montagem Automática Flexível
<b>Idle Time</b> .....	Tempo Morto
<b>Lean Manufacturing</b> .....	Produção Magra
<b>Left Side</b> .....	Lado Esquerdo
<b>Mix-Model Assembly Line Balancing Problem</b> .....	Problema de Balanceamento de Linhas de Montagem Mix-Modelos ou Problema de Balanceamento de Linhas de Montagem de modelos variados
<b>Manual Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Manual
<b>Mix-model Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Mix-modelos
<b>Multi-Objective Assembly Line Balancing Problem</b> .....	Problemas de Balanceamento de Linhas de Montagem Multi-Objectivos
<b>MUDA</b> .....	Desperdícios

<b>Multi-Model Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Multi-modelos
<b>Paced Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Síncrona
<b>Process Layout</b> .....	Layout Funcional
<b>Product Layout</b> .....	Layout Celular
<b>Robotic Assembly Line Balancing Problem</b> .....	Problema de Balanceamento de Linhas de Montagem Automáticas
<b>Right Side</b> .....	Lado Direito
<b>Single Assembly Line Balancing Problem</b> .....	Problema de Balanceamento de Linhas de Montagem Simples
<b>Semi-Automatic Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Semi-Automática
<b>Single Model Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Simples
<b>Total Idle Time</b> .....	Tempo Morto Total
<b>Two-sided Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem 2-lados
<b>U-Shaped Assembly Line Balancing Problem</b> .....	Problema de Balanceamento de Linhas de Montagem em U
<b>Unpaced Assembly Line</b> .....	Linha de Montagem Assíncrona
<b>Workload</b> .....	Tempo necessário para a execução de todas as tarefas destinada a uma estação de trabalho

# Índice

---

## Capítulo I - Introdução

1.1 Importância do tema.....	2
1.2 Objectivos da dissertação .....	4
1.3 Metodologia.....	5
1.4 Estrutura da tese .....	7

## Capítulo II – Configuração de Instalações

2.1 Introdução .....	10
2.2 Objectivos do estudo da configuração de linhas de produção .....	11
2.3 Tipologia de configurações.....	11
2.3.1 <i>Layout</i> por ponto fixo .....	12
2.3.2 <i>Layout</i> funcional .....	14
2.3.3 <i>Layout</i> celular .....	15
2.3.4 <i>Layout</i> de produto .....	16
2.4 Destaques do capítulo.....	18

## Capítulo III – Linhas de Montagem

3.1 Introdução .....	21
3.2 Caracterização de uma linha de montagem .....	21
3.3 Classificação de linhas de montagem .....	24
3.3.1 Linhas de montagem segundo o fluxo de material.....	25
3.3.2 Linhas de montagem segundo diversidade de produtos .....	28
3.3.3 Linhas de montagem segundo o nível de automação.....	30
3.4 Configuração de uma linha de montagem .....	34
3.4.1 Linha de montagem linear .....	34
3.4.2 Linhas de montagem em U.....	35
3.4.3 Linha de montagem em C .....	37
3.4.4 Linhas de montagem circular.....	37
3.4.5 Linhas de montagem paralelas.....	38
3.4.6 Linhas de montagem de dois lados .....	40
3.5 Balanceamento de linhas de montagem.....	43



3.5.1 Classificação de problemas de balanceamento de linhas de montagem.....	44
3.5.1.1 Balanceamento de linhas de montagem de dois lados .	46
3.6 Destaques do capítulo.....	54

#### **Capítulo IV – Proposta de um Procedimento para a Concepção de Linhas Mix-Modelos**

4.1 Introdução .....	59
4.2 Componentes de instalação de uma linha de montagem .....	59
4.3 Restrições na instalação de uma linha de montagem.....	61
4.4 Implementação de uma linha de montagem mix-modelos.....	71
4.4.1 Etapa 1- Elaboração do balanceamento e configuração do <i>layout</i> teórico da linha de montagem .....	76
4.4.2 Etapa 2 - Elaboração do balanceamento e configuração do <i>layout</i> final da linha de montagem .....	80
4.4.3 Etapa 3 - Balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem .....	82
4.5 Destaques do capítulo.....	83

#### **Capítulo V – Estudo de Caso**

5.1 Introdução .....	87
5.2 Validação do procedimento de concepção de uma linha de montagem mix-modelos .....	87
5.2.1 Caracterização do estado inicial da linha de montagem .....	88
5.2.2 Caracterização do estado final da linha de montagem .....	101
5.2.2.1 Estudo do rebalanceamento da linha de montagem ...	111
5.3 Destaques do capítulo.....	120

#### **Capítulo VI – Conclusões e Considerações Finais**

Conclusões e Considerações Finais .....	122
---	-----

<b>Referências .....</b>	<b>131</b>
--------------------------	------------

**Anexos:**

<b>Anexo A:</b> Ergonomia na Indústria Automóvel .....	136
<b>Anexo B:</b> Diagrama de Esparguete da Situação Inicial .....	137
<b>Anexo C:</b> Descrição do Processo da Situação Inicial .....	145
<b>Anexo D:</b> Alocação das tarefas à zona do produto, Situação Inicial .....	155
<b>Anexo E:</b> Descrição do Processo da Situação Final.....	163
<b>Anexo F:</b> Diagrama de Esparguete da Situação Final .....	170
<b>Anexo G:</b> Alocação das tarefas à zona do produto, Situação Final .....	177

# Índice de Ilustrações

---

<b>Figura 1.1</b>	Produção flexível: capacidade das indústrias e satisfação do consumidor ..	3
<b>Figura 1.2</b>	Esquemática da metodologia seguida .....	5
<b>Figura 2.1</b>	Configurações de instalações: quantidade versus número de Produtos ....	12
<b>Figura 2.2</b>	Exemplo esquemático de um <i>layout</i> por ponto fixo .....	13
<b>Figura 2.3</b>	Exemplo esquemático de um <i>layout</i> funcional.....	14
<b>Figura 2.4</b>	Exemplo esquemático de um <i>layout</i> celular .....	15
<b>Figura 2.5</b>	Exemplo esquemático de um <i>layout</i> em linha.....	17
<b>Figura 3.1</b>	Esquemática de uma linha de montagem.....	22
<b>Figura 3.2</b>	Exemplo de um diagrama de precedências.....	23
<b>Figura 3.3</b>	Classificação de linhas de montagem .....	25
<b>Figura 3.4</b>	Esquemática de uma linha de montagem síncrona .....	25
<b>Figura 3.5</b>	Esquemática de uma linha de montagem assíncrona .....	26
<b>Figura 3.6</b>	Esquemática do funcionamento de uma linha de pré-montagem .....	27
<b>Figura 3.7</b>	Linhas de pré-montagem na indústria automóvel .....	27
<b>Figura 3.8</b>	Classificação de linhas de montagem segundo a diversidade de produtos	29
<b>Figura 3.9</b>	Linha de montagem manual para a <i>Harley Davidson's motorcycles</i> .....	31
<b>Figura 3.10</b>	Linha de montagem versus flexibilidade.....	31
<b>Figura 3.11</b>	Nível de automação versus volume de fabricação .....	32
<b>Figura 3.12</b>	Montagem do pára-brisas.....	33
<b>Figura 3.13</b>	Linha de montagem totalmente automatizada na indústria automóvel.....	33
<b>Figura 3.14</b>	Esquemática de uma linha de montagem recta.....	35
<b>Figura 3.15</b>	Linha de montagem linear para o <i>Ford Model T</i> .....	35
<b>Figura 3.16</b>	Balanceamento de linha recta versus linha em U .....	36
<b>Figura 3.17</b>	Esquemática de uma linha de montagem em forma de C .....	37
<b>Figura 3.18</b>	Linha de montagem circular .....	37

<b>Figura 3.19</b> Esquemática do paralelismo nas linhas de montagem .....	38
<b>Figura 3.20</b> Esquemática do paralelismo nas estações de trabalho .....	39
<b>Figura 3.21</b> Esquemática da linha de dois lados .....	40
<b>Figura 3.22</b> Linha de montagem de dois lados para um camião.....	41
<b>Figura 3.23</b> Linha de montagem de dois lados para um automóvel.....	41
<b>Figura 3.24</b> Interferência numa linha de montagem de dois lados.....	42
<b>Figura 4.25</b> Modelo matemático para a programação de linhas 2-ALBP .....	53
<b>Figura 4.1</b> Exemplo prático de uma estação com identidade .....	62
<b>Figura 4.2</b> Esquemática da zona de baixo nível .....	63
<b>Figura 4.3</b> Caso real da zona de baixo nível .....	63
<b>Figura 4.4</b> Esquemática da zona elevada .....	64
<b>Figura 4.5</b> Caso real da zona elevada.....	64
<b>Figura 4.6</b> Esquemática da execução de tarefas cima do nível do veículo.....	64
<b>Figura 4.7</b> Operador executa tarefas acima do nível do veículo .....	64
<b>Figura 4.8</b> Equilíbrio do <i>workload</i> da estação de trabalho .....	65
<b>Figura 4.9</b> Distribuição das posições numa linha de montagem .....	66
<b>Figura 4.10</b> Montagem do pára-choques frontal de um camião .....	67
<b>Figura 4.11</b> Montagem da porta num automóvel .....	68
<b>Figura 4.12</b> Banco ergonómico em montagens no interior .....	68
<b>Figura 4.13</b> Tipos dos recipientes .....	69
<b>Figura 4.14</b> Exemplo de um carro de apoio.....	70
<b>Figura 4.15</b> Exemplo do posicionamento do carro de apoio na linha de montagem ...	70
<b>Figura 4.16</b> JIT por Kits.....	71
<b>Figura 4.17</b> Esquematização do diagrama macro .....	72
<b>Figura 4.18</b> Diagrama macro do procedimento proposto.....	74
<b>Figura 4.19</b> Diagrama detalhado representativo das três etapas da concepção.....	75
<b>Figura 4.20</b> Diagrama 1:Balanceamento e configura do <i>layout</i> teórico.....	76

<b>Figura 4.21</b>	Diagrama 1.1: Determinação de todas as tarefas.....	77
<b>Figura 4.22</b>	Diagrama 1.2: Agregação das tarefas em processos .....	77
<b>Figura 4.23</b>	Diagrama 1.3: Alocação dos processos às estações de trabalho .....	78
<b>Figura 4.24</b>	Diagrama 1.4:Verificação das restrições de instalação .....	79
<b>Figura 4.25</b>	Diagrama 1.5:Realocação dos processos a novas estações de trabalho	80
<b>Figura 4.26</b>	Diagrama 2:Balanceamento e configuração do <i>layout</i> final .....	81
<b>Figura 4.27</b>	Diagrama 3:Balanceamento e configuração de introdução de melhorias	82
<b>Figura 5.1</b>	Etapa 3.1: Estudo para a introdução de melhorias .....	88
<b>Figura 5.2</b>	Localização dos operadores na fase inicial .....	89
<b>Figura 5.3</b>	Ocupação do espaço logístico, situação inicial.....	90
<b>Figura 5.4</b>	Diagrama de esparguete da estação 1L, situação inicial .....	92
<b>Figura 5.5</b>	Diagrama de carga inicial.....	96
<b>Figura 5.6</b>	Diagrama de precedências.....	98
<b>Figura 5.7</b>	Diagrama de alocação dos processos para estação 1L, situação inicial....	99
<b>Figura 5.8</b>	Diagrama da alocação dos processos das estações, situação inicial .....	100
<b>Figura 5.9</b>	Etapa 3.2:Identificação de possíveis melhorias .....	100
<b>Figura 5.10</b>	Etapa 3.3:Rebalanceamento da linha de montagem .....	101
<b>Figura 5.11</b>	Diagrama de carga final .....	105
<b>Figura 5.12</b>	Diagrama da alocação dos processos das estações, situação final .....	106
<b>Figura 5.13</b>	Etapa 3.4:Verificação das restrições de instalação.....	107
<b>Figura 5.14</b>	Localização dos operadores na fase final.....	108
<b>Figura 5.15</b>	Ocupação do espaço logístico, situação final .....	109
<b>Figura 5.16</b>	Etapa 3.5:Realocação dos processos a novas estações .....	110
<b>Figura 5.17</b>	Etapa 3.6:Implementação das alterações.....	110
<b>Figura 5.18</b>	Diagrama de esparguete da estação 1L, situação final .....	110
<b>Figura 5.19</b>	Localização dos operadores na solução do 2-ALBP.....	114
<b>Figura 5.20</b>	Diagrama da alocação das estações pelo 2-ALBP .....	115

<b>Figura 5.21</b>	Diagrama de carga da solução apresentada pelo algoritmo 2-ALBT .....	116
--------------------	--	-----

## **Anexos:**

<b>Figura A.1</b>	Solução ergonómica <i>Walk Assist Device</i> .....	136
<b>Figura A.2</b>	Aplicação do <i>Walk Assist Device</i> numa linha de montagem .....	136
<b>Figura B.1</b>	Diagrama de esparguete da estação 1L, situação inicial .....	137
<b>Figura B.2</b>	Diagrama de esparguete da estação 2L, situação inicial .....	138
<b>Figura B.3</b>	Diagrama de esparguete da estação 3L, situação inicial .....	139
<b>Figura B.4</b>	Diagrama de esparguete da estação 0R, situação inicial.....	140
<b>Figura B.5</b>	Diagrama de esparguete da estação 1R, situação inicial.....	141
<b>Figura B.6</b>	Diagrama de esparguete da estação 3R, situação inicial.....	142
<b>Figura B.7</b>	Diagrama de esparguete da estação 1B, situação inicial .....	143
<b>Figura B.8</b>	Diagrama de esparguete da estação 4F, situação inicial .....	144
<b>Figura D.1</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 1L,situação inicial ..	155
<b>Figura D.2</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 2L,situação inicial ..	156
<b>Figura D.3</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 3L,situação inicial ..	157
<b>Figura D.4</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 0R,situação inicial .	158
<b>Figura D.5</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 1R,situação inicial .	159
<b>Figura D.6</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 3R,situação inicial .	160
<b>Figura D.7</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 1B,situação inicial..	161
<b>Figura D.8</b>	Diagrama da alocação dos processos para estação 4F,situação inicial..	162
<b>Figura F.1</b>	Diagrama de esparguete da estação 1L, situação final .....	170
<b>Figura F.2</b>	Diagrama de esparguete da estação 2L, situação final .....	171
<b>Figura F.3</b>	Diagrama de esparguete da estação 3L, situação final .....	172
<b>Figura F.4</b>	Diagrama de esparguete da estação 0R, situação final .....	173
<b>Figura F.5</b>	Diagrama de esparguete da estação 1R, situação final .....	174
<b>Figura F.6</b>	Diagrama de esparguete da estação 3R, situação final .....	175

<b>Figura F.7</b> Diagrama de esparguete da estação 1B, situação final.....	176
<b>Figura G.1</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 1L,situação final ....	177
<b>Figura G.2</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 2L,situação final ....	178
<b>Figura G.3</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 3L,situação final ....	179
<b>Figura G.4</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 0R,situação final....	180
<b>Figura G.5</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 1R,situação final....	181
<b>Figura G.6</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 3R,situação final....	182
<b>Figura G.7</b> Diagrama da alocação dos processos para estação 1B,situação final....	183

# Índice de Tabelas

---

<b>Tabela 2.1</b>	Principais vantagens e limitações da utilização do <i>layout</i> por ponto fixo ...	13
<b>Tabela 3.2</b>	Principais vantagens e limitações da utilização do <i>layout</i> funcional .....	15
<b>Tabela 2.3</b>	Principais vantagens e limitações da utilização do <i>layout</i> celular .....	16
<b>Tabela 2.4</b>	Principais vantagens e limitações da utilização do <i>layout</i> de produto .....	17
<b>Tabela 3.1</b>	Vantagens e limitações da utilização de uma linha de montagem.....	24
<b>Tabela 3.2</b>	Vantagens e limitações das linhas segundo o fluxo de material .....	28
<b>Tabela 3.3</b>	Vantagens e limitações das linhas segundo a diversidade de produto .....	30
<b>Tabela 3.4</b>	Vantagens e limitações das linhas segundo o nível de automação .....	34
<b>Tabela 3.5</b>	Vantagens e limitações das linhas segundo a sua configuração .....	43
<b>Tabela 3.6</b>	Classificação de SALBP .....	44
<b>Tabela 3.7</b>	Relação entre o número de opções do veículo e o modelo do veículo.....	54
<b>Tabela 3.8</b>	Esquemática da classificação das linhas de montagem segundo o fluxo ..	55
<b>Tabela 3.9</b>	Esquemática das diferentes formas de configuração de linhas .....	56
<b>Tabela 3.10</b>	Esquemática da classificação dos problemas de balanceamento .....	56
<b>Tabela 4.1</b>	Classificação dos componentes de uma linha de montagem .....	60
<b>Tabela 4.2</b>	Principal simbologia de conexão entre as várias actividades no método ..	73
<b>Tabela 5.1</b>	Dados referentes ao tempo de ciclo e volume de produção.....	93
<b>Tabela 5.2</b>	Descrição do processo inicial para a estação 1L .....	94
<b>Tabela 5.3</b>	Valores de cargas obtidos nas estações de trabalho, fase inicial .....	95
<b>Tabela 5.4</b>	Principais processos da estação 1L .....	98
<b>Tabela 5.5</b>	Descrição do processo final para a estação 1L.....	103
<b>Tabela 5.6</b>	Valores de cargas obtidos nas estações de trabalho, fase final .....	104
<b>Tabela 5.7</b>	Redução do valor dos desperdícios .....	105
<b>Tabela 5.8</b>	Duração de cada um dos processos .....	112
<b>Tabela 5.9</b>	Realocação dos processos segundo a aplicação do algoritmo 2-ALBP ..	114



<b>Tabela 5.10</b> Valores de cargas obtidos nas estações de trabalho para o 2-ALBP ....	118
<b>Tabela 5.11</b> Resumo comparativo dos resultados .....	119

#### **Anexos:**

<b>Tabela C.1</b> Descrição do processo inicial para a estação 1L .....	145
<b>Tabela C.2</b> Descrição do processo inicial para a estação 2L .....	146
<b>Tabela C.3</b> Descrição do processo inicial para a estação 3L .....	148
<b>Tabela C.4</b> Descrição do processo inicial para a estação 0R .....	149
<b>Tabela C.5</b> Descrição do processo inicial para a estação 1R .....	150
<b>Tabela C.6</b> Descrição do processo inicial para a estação 3R .....	152
<b>Tabela C.7</b> Descrição do processo inicial para a estação 1B .....	153
<b>Tabela C.8</b> Descrição do processo inicial para a estação 4F .....	154
<b>Tabela D.1</b> Principais processos da estação 1L, situação Inicial .....	155
<b>Tabela D.2</b> Principais processos da estação 2L, situação Inicial .....	156
<b>Tabela D.3</b> Principais processos da estação 3L, situação Inicial .....	157
<b>Tabela D.4</b> Principais processos da estação 0R, situação Inicial.....	158
<b>Tabela D.5</b> Principais processos da estação 1R, situação Inicial.....	159
<b>Tabela D.6</b> Principais processos da estação 3R, situação Inicial.....	160
<b>Tabela D.7</b> Principais processos da estação 1B, situação Inicial.....	161
<b>Tabela D.8</b> Principais processos da estação 4F, situação Inicial .....	162
<b>Tabela E.1</b> Descrição do processo final para a estação 1L .....	163
<b>Tabela E.2</b> Descrição do processo final para a estação 2L .....	164
<b>Tabela E.3</b> Descrição do processo final para a estação 3L .....	165
<b>Tabela E.4</b> Descrição do processo final para a estação 0R.....	166
<b>Tabela E.5</b> Descrição do processo final para a estação 1R.....	167
<b>Tabela E.6</b> Descrição do processo final para a estação 3R.....	168
<b>Tabela E.7</b> Descrição do processo final para a estação 1B .....	169

<b>Tabela G.1</b> Principais processos da estação 1L, situação final .....	177
<b>Tabela G.2</b> Principais processos da estação 2L, situação final .....	178
<b>Tabela G.3</b> Principais processos da estação 3L, situação final .....	179
<b>Tabela G.4</b> Principais processos da estação 0R, situação final .....	180
<b>Tabela G.5</b> Principais processos da estação 1R, situação final .....	181
<b>Tabela G.6</b> Principais processos da estação 3R, situação final .....	182
<b>Tabela G.7</b> Principais processos da estação 1B, situação final .....	183

# Capítulo I

## Introdução

## 1.1 Importância do tema

As últimas décadas são marcadas por grandes progressos a níveis tecnológicos. Estes progressos contribuíram para o desenvolvimento do mercado mundial existente.

O mercado mundial actual caracteriza-se por ser um mercado onde as indústrias evoluíram e tornaram-se cada vez mais dinâmicas e mais competitivas (Simaria, 2006). De uma forma geral, as indústrias desenvolveram estas características uma vez que com o passar do tempo, também, o cliente se modificou tornando-se cada vez mais exigente (Su, Ferguson, Chang, 2004). A exigência do cliente traduz-se na aquisição de produtos que satisfaçam as suas necessidades ao mesmo tempo que estejam personalizados a si. Este facto leva as indústrias produtoras a fabricar uma elevada variedade de produtos os quais devem, ainda, apresentar um padrão de qualidade elevado e um baixo custo (Bone, Craighead, Hanna, 2007).

Para que as indústrias produtoras consigam satisfazer as necessidades desta nova geração de clientes, estas vêm-se obrigadas a modificar os seus sistemas produtivos de forma a introduzir alguma flexibilidade nos mesmos. A flexibilidade produtiva designa-se, assim, como a capacidade que o processo produtivo apresenta para se adaptar a diferentes variáveis de entrada de forma a que o fabrico de diversos modelos seja possível (Gerhardt, 2005).

Segundo *Zhang* (Zhang, Vonderembse, & Lim, 2003), o conceito de flexibilidade produtiva subdivide-se em duas vertentes diferentes, sendo que, a primeira designa-se como flexibilidade de volume e a segunda, como flexibilidade de produtos. A flexibilidade de volume representa a capacidade de que a indústria desenvolveu para variar os volumes de produção dos diferentes produtos fabricados, já, a flexibilidade de produtos consiste na variação dos modelos do produto a fabrica, isto é, o *mix* de produtos.

Neste sentido, a flexibilidade de produtos permite que as indústrias satisfaçam as necessidades do cliente, enquanto que, a flexibilidade de volume de produtos fornece às indústrias um aumento de produtividade, tal como se apresenta na figura 1.1, a qual permite sintetizar o impacto da produção flexível na capacidade das indústrias e na satisfação do consumidor (Gerhardt, 2005).

Observando a figura 1.1, verifica-se que a implementação de um sistema flexível contempla a existência de material e equipamento, também este, flexível para que seja possível o fabrico de vários produtos. A existência deste tipo de materiais permite por

sua vez obter as diferentes vertentes de flexibilidade referidas anteriormente e, consequentemente, alcançar a satisfação do consumidor uma vez que as suas necessidades são atendidas.

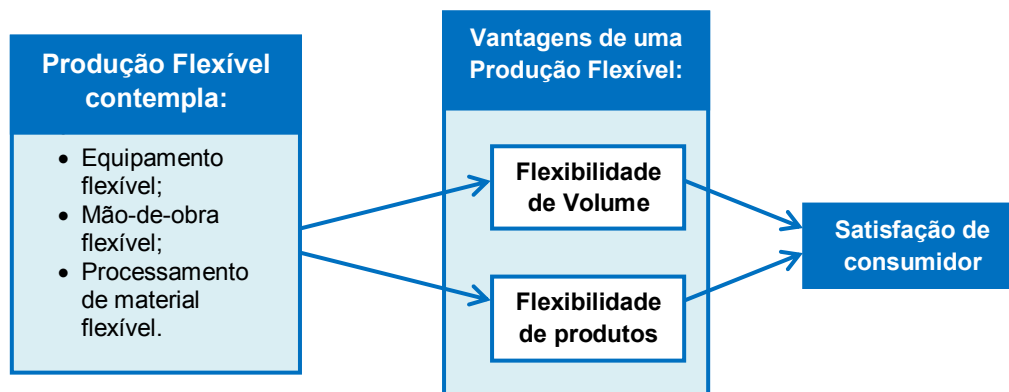


Figura 1.1 Produção flexível: capacidade das indústrias e satisfação do consumidor  
(Fonte: Adaptado de Zhang, Vonderembse & Lim, 2003)

A implementação destes sistemas de produção implica para a maioria das indústrias a modificação dos seus sistemas produtivos, isto é, torna-se essencial alterar as suas linhas de produção para que estas consigam acompanhar as evoluções de mercado.

As linhas de produção que mais se adequam às características do mercado actual denominam-se como linhas de montagem mix-modelos. Estas linhas possuem a particularidade de ter a capacidade de produzir um determinado número de modelos de um mesmo produto sem que haja qualquer tipo de paragem entre a produção de cada um dos modelos. Um exemplo da aplicação deste tipo de linhas encontra-se na indústria automóvel uma vez que neste tipo de mercado o cliente selecciona o veículo a adquirir a partir de um leque variado de opções (Coronado, Lyons, Kehoe & Coleman, 2004).

No seguimento da evolução do mercado actual em conjunto com a necessidade de manter a competitividade das indústrias com a implementação de sistemas produtivos flexíveis, surgiu o aparecimento de uma poderosa filosofia de gestão denominada *Lean Manufacturing* em português por vezes designada de Produção Magra. Esta filosofia de gestão tem como principal objectivo permitir que as empresas mantenham ou elevem os seus níveis de competitividade no mercado tendo, para tal, como base a eliminação de qualquer recurso que não acrescente valor ao produto final.

Desta forma, verifica-se que o futuro económico das indústrias aponta na direcção de sistemas de produção flexíveis (Beach, Muhlemann, Price, Paterson & Sharp, 2000).

## 1.2 Objectivos da dissertação

Esta dissertação tem como principal objectivo, o desenvolvimento de um procedimento para o balanceamento e configuração de linhas de montagem mix-modelos desde a sua primeira instalação na unidade fabril até, posteriores, implementações de melhorias.

A concretização deste objectivo permitirá aumentar o nível de flexibilidade das linhas de montagem de forma a adaptarem-se às diferentes exigências do mercado actual, mais concretamente ao crescimento do número de modelos a fabricar.

A concretização do objectivo passa, assim, por estabelecer os seguintes objectivos específicos:

- Conhecer as diferentes abordagens existentes de linhas de montagem, assim como, os problemas de balanceamento subjacentes a estas;
- Identificar algoritmos matemáticos para a resolução de problemas de balanceamento de linhas de montagem em especial para a linha de montagem mix-modelos;
- Identificar as principais restrições de instalação de linhas de montagem mix-modelos;
- Desenvolver um procedimento para o balanceamento e configuração de linhas de montagem mix-modelos.

### 1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento desta dissertação utilizou-se a metodologia apresentada de seguida, na figura 1.2.

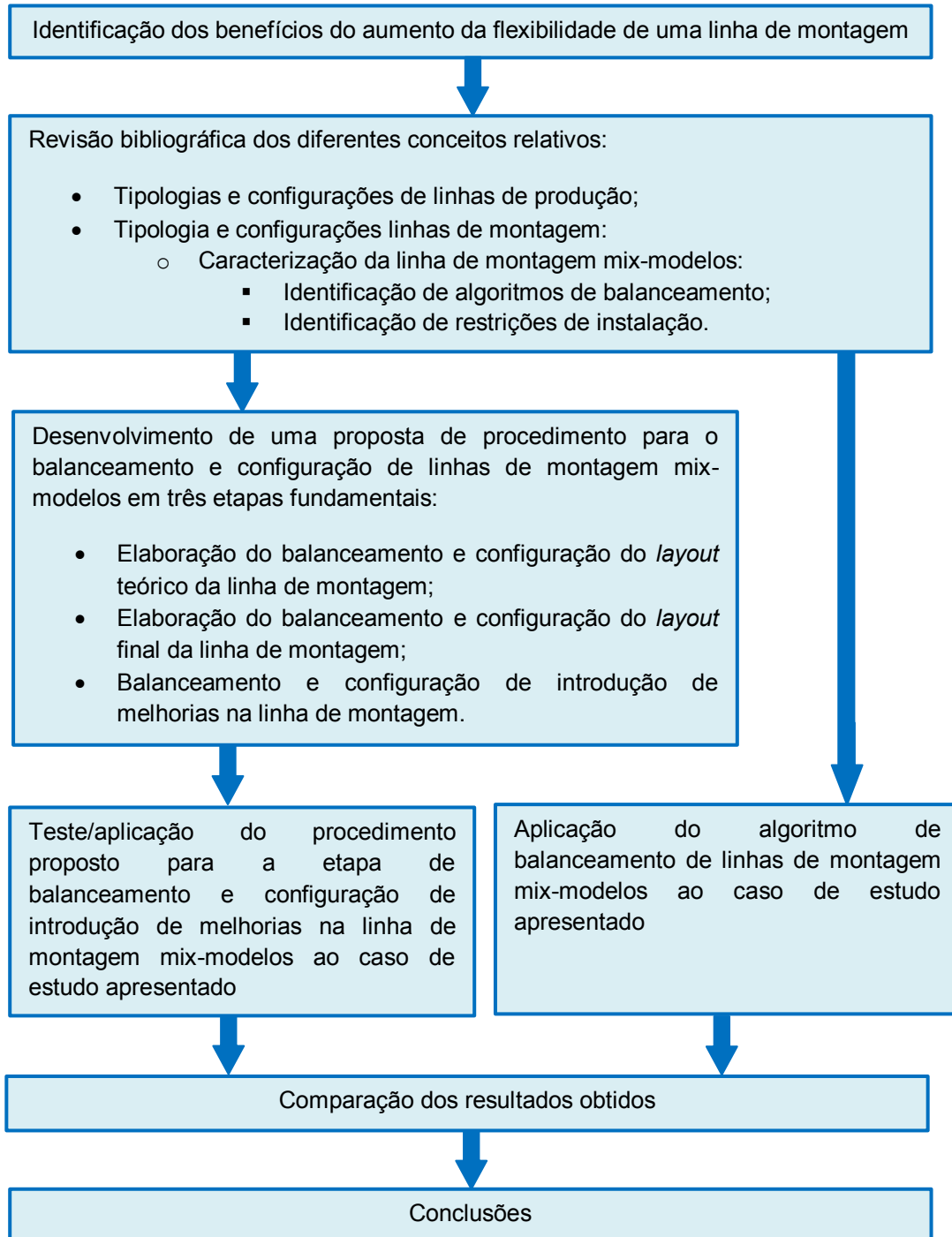


Figura 1.2 Esquemática da metodologia seguida

O desenvolvimento desta dissertação inicia-se com o levantamento de toda uma pesquisa bibliográfica com o intuito de rever os principais conceitos e identificar as

melhores práticas disponíveis para a resolução do problema do mercado actual, isto é, à necessidade que as indústrias têm de se modificar de forma a aumentar os níveis de flexibilidade para conseguir dar resposta às diferentes exigências do cliente actual.

Neste sentido, a revisão bibliográfica inicia-se com uma breve descrição da importância do estudo relativo às diferentes formas de configuração de linhas de produção uma vez que a origem da importância deste estudo se deve à necessidade que as indústrias apresentam, actualmente, de produzir um número de produtos cada vez maior para que consigam satisfazer os requisitos do cliente actual. O estudo das diferentes formas de configuração de linhas de produção pretende ser uma mais-valia na medida em que este estudo permite aumentar o número de produtos fabricados e, consequentemente, os padrões de flexibilidade, também, são elevados.

No entanto, o aumento de número de produtos a fabricar pode levar à alteração das configurações dos sistemas produtivos actualmente existentes nas empresas. Neste sentido, em seguida descreve-se as principais tipologias de configuração de linhas de produção. É de salientar que dos sistemas produtivos existentes, esta dissertação visa estudar as linhas de montagem uma vez que estas representam a melhor forma de resposta ao mercado actual.

Desta forma, seguidamente, identifica-se e caracteriza-se os aspectos relevantes relacionados com as linhas de montagem de entre os quais se salienta o estudo da tipologia das mesmas e a, consequente, identificação de qual dos tipos de linhas de montagem existentes permite incrementar uma maior flexibilidade, as linhas de montagem mix-modelos, para que seja possível a fabricação de um número maior de modelos de produtos.

Ainda, para este mesmo tema, selecciona-se e caracteriza-se um algoritmo de balanceamento que melhor se adequa ao tipo de linha em estudo, neste caso, à linha de montagem mix-modelos. Num estudo mais aprofundado relativo à aplicação deste tipo de linhas, descreve-se os principais constrangimentos de aplicabilidade da mesma na medida em que a instalação deste tipo de linhas numa situação verídica pode acarretar diversos obstáculos. Estes obstáculos devem-se em grande parte à situação encontrada na indústria na qual se pretende fazer a instalação e, também, ao tipo de produto a fabricar.

Após, a identificação e caracterização dos constrangimentos da aplicação das linhas de montagem mix-modelos a situações reais, desenvolve-se uma proposta de



procedimento para a implementação desta mesma linha. A proposta de procedimento desenvolvida apresenta três etapas, sendo elas:

- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* teórico da linha de montagem;
- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* final da linha de montagem;
- Balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem.

Em seguida apresenta-se um caso de estudo realizado na indústria automóvel no qual se pretende validar a terceira etapa da proposta de procedimento desenvolvida anteriormente e, ainda, aplicar o algoritmo matemático identificado anteriormente à linha de montagem em estudo de forma no final ser possível comparar os resultados obtidos.

É de salientar que os dados relativos ao caso de estudo apresentado estão distorcidos da realidade uma vez que a empresa em questão pede a confidencialidade dos mesmos.

## 1.4 Estrutura da tese

Esta secção visa expor a forma como a presente dissertação se estrutura. Desta forma, a presente dissertação decompõe-se em seis capítulos e cuja a sua descrição se apresenta seguidamente.

O presente capítulo contextualiza a importância da configuração e balanceamento de linhas de produção flexíveis referindo a importância do seu estudo, os objectivos pretendidos e descreve sucintamente a metodologia a utilizar.

O segundo capítulo apresenta, de uma forma breve, a configuração de linhas de produção no qual se caracteriza os diferentes padrões de fluxo existentes numa organização, assim como, os diversos tipos de *layout* aplicáveis aos padrões de fluxo pretendidos.

No terceiro capítulo efectua-se um estudo aprofundado relativo a linhas de montagem. Este estudo permite a identificação e classificação das diferentes formas possíveis de configuração das mesma e, ainda, a identificação de qual destas

configurações se adequa melhor ao tema em estudo. Na segunda parte deste capítulo enumera-se os diversos tipos de problemas de balanceamento existentes e caracteriza-se um algoritmo aplicável ao tipo de linha em estudo, linha de montagem mix-modelos.

O quarto capítulo resume os principais aspectos a ter em atenção aquando da instalação de uma linha de montagem mix-modelos. No início do capítulo descreve-se as restrições de instalação existentes e no final desenvolve-se uma proposta de uma metodologia de implementação da linha de montagem mix-modelos.

O quinto capítulo refere-se ao caso de estudo. Neste capítulo aplica-se não só a proposta de procedimento de implementação de uma linha de montagem mix-modelos desenvolvida no capítulo anterior, como também, se testou a aplicação algorítmica para a resolução de problemas de balanceamento de linhas de montagem mix-modelos identificado no capítulo III, à linha de montagem em estudo após o qual se comparar os resultados obtidos.

No sexto, e último capítulo, apresenta-se as conclusões do estudo desenvolvido.

## **Capítulo II**

### **Configuração de Linhas de Produção**

## 2.1 Introdução

Com a evolução do mercado, as indústrias viram-se obrigadas a modificar os seus sistemas produtivos de forma a conseguirem satisfazer as necessidades do mercado actual. Este mercado caracteriza-se pela existência de um cliente cada vez mais exigente onde este apenas adquire produtos que contenham as características que este procura. Para conseguir satisfazer tais requisitos, as indústrias necessitam agora de modificar os seus sistemas produtivos de forma a conseguirem produzir uma gama de produtos distintos onde cada um deles se encontra personalizado ao seu consumidor. Os sistemas produtivos instalados nas indústrias denominam-se como linhas de produção.

Este facto levou ao desenvolvimento dos estudos relativos à configuração de instalação de linhas de produção uma vez que surgiu a necessidade de alterar as configurações de instalação existentes de forma a conseguir introduzir nas linhas de produção mais e novos modelos de fabricação. Apesar desta ser uma das razões mais importantes para o estudo da configuração das linhas de produção poderão existir outras razões relevantes, também, como, as alterações das características dos produtos, as alterações no volume de produção, as alterações de tecnologia ao nível dos equipamentos e métodos e, ainda, a procura da optimização dos recursos existentes nas linhas de produção (Roldão & Ribeirão, 2004).

O estudo relativo à configuração de linhas de produção verifica-se ser bastante importante não só pelas razões mencionadas anteriormente, mas também, porque alterações às configurações de instalação mal concebidas pode levar a investimentos relativamente grandes por parte da indústria. Estes investimentos podem se verificar quando uma determinada configuração for mal projectada levando posteriormente à modificação da configuração de instalações já implementada. As modificações posteriores à total implementação são por norma mais dispendiosas (Tompkins, Bozer, Frazelle, Tanchoco & Trevino, 1996).

Desta forma, este capítulo tem como objectivo introduzir de uma forma breve a importância e o objectivo do estudo de configuração de instalações. Outro aspecto relevante abordado, também, neste capítulo relaciona-se com identificação dos diversos tipos de configuração de instalação existentes numa indústria.

## 2.2 Objectivos do estudo da configuração de linhas de produção

A configuração de instalações, também, denominado como *layout*, caracteriza-se por estabelecer uma relação física entre as várias actividades existentes numa linha de produção.

O *layout* define-se como um arranjo ou um rearranjo da localização física das várias máquinas e equipamentos existentes num determinado local em estudo de forma a contribuir para a redução dos movimentos dos materiais e dos trabalhadores ao longo do processo produtivo. Com o estudo deste pode-se, também, alcançar os seguintes objectivos(Francis & White, 1992):

- Minimização do investimento nos equipamentos;
- Minimização do tempo de produção;
- Optimização do espaço disponível;
- Fornecimento ao operador de um posto de trabalho seguro e confortável;
- Flexibilidade nas operações;
- Minimização do custo de manuseamento de material;
- Redução dos diversos tipos de equipamento no tratamento do material;
- Optimização do processo de produção;
- Optimização da estrutura da empresa.

## 2.3 Tipologia de configurações

As diferentes tipologias de *layout* apresentam diversas formas de configuração (Roldão & Ribeirão, 2004), sendo elas:

- O *layout* por ponto fixo (*Fixed product layout*) ;
- O *layout* funcional (*Process layout*);
- O *layout* celular (*Cellular layout*);
- O *layout* de produto (*Product layout*).

Cada uma destas tipologias de *layout* caracteriza-se por uma determinada quantidade e diversidade de produtos a fabricar onde na figura 2.1 se apresenta um gráfico no qual se observa o relacionamento entre as várias características existentes.

Observando a figura 2.1, o *layout* de produto utiliza-se quando se pretende produzir quantidades elevados de um determinado produto. Contudo, o número de produtos fabricados é reduzido. No *layout* por ponto fixo, este facto não acontece uma vez que

este *layout* permite a produção de diversos produtos. No entanto, a quantidade a fabricar de cada um deles deve ser reduzida. Para o *layout* celular e para o *layout* funcional realiza-se uma interpretação semelhante.

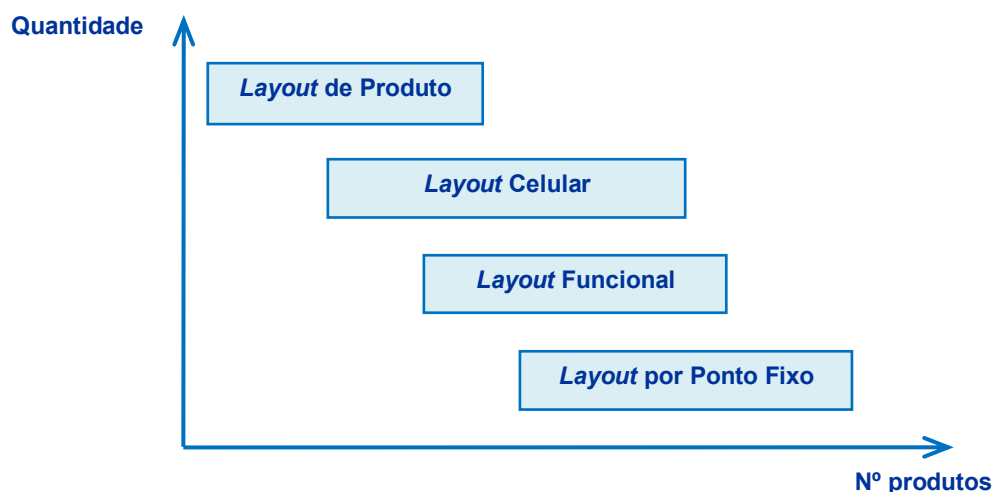


Figura 2.1 Configurações de instalações: quantidade versus número de Produtos  
(Fonte: Adaptado de Carravilla, 1998)

Refira-se, no entanto, que na prática, muitas das vezes, esta divisão não ocorre, já que, dificilmente se observa uma fábrica totalmente projectada com um único tipo de *layout* (Camarotto, 1998) o que poderá depender do espaço disponível na área de trabalho em estudo (Garcia-Diaz & Smith, 2007).

Em seguida apresenta-se uma breve caracterização de cada uma das tipologias de *layout* existentes onde, também, se indica quais as suas principais vantagens e limitações da sua utilização.

### 2.3.1 Layout por ponto fixo

O **layout por ponto fixo**, ou em inglês denominado como *fixed product layout*, caracteriza-se pelo facto do produto a fabrica permanecer parado enquanto que os operadores e equipamentos necessários à sua fabricação se movimentam à sua volta (Camarotto, 1998).

A figura 2.2 representa um exemplo típico do *layout* por ponto fixo dado que o produto permanece no mesmo local enquanto que todos os equipamentos e processos inerentes à sua concepção vão de encontro ao produto. Casos mais frequentes deste tipo de *layout* verificam-se na construção naval ou na construção civil.

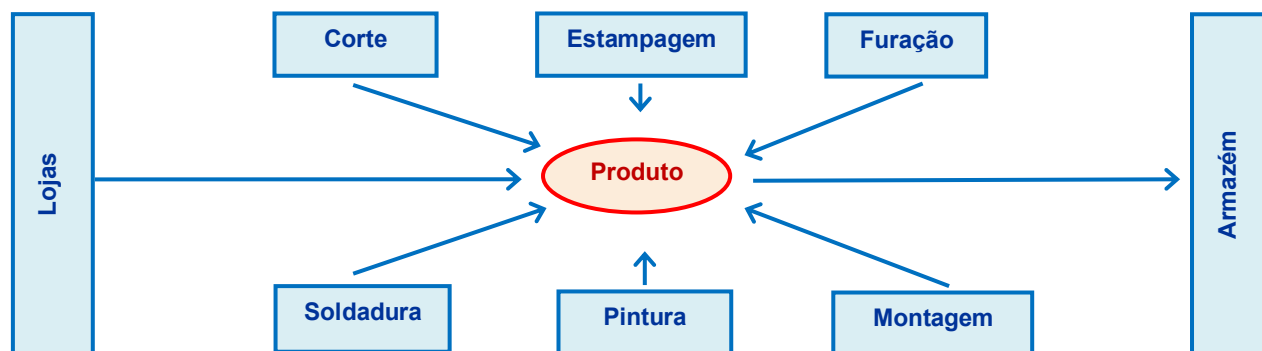


Figura 2.2 Exemplo esquemático de um *layout* por ponto fixo  
(Fonte: Adaptado de Tompkins, Bozer, Frazelle, Tanchoco, & Trevino, 1996)

O *layout* por ponto fixo utiliza-se, essencialmente, para o fabrico de produtos volumosos e cuja quantidade produzida é reduzida (Muther, 1955). O processo de fabrico para este tipo de produtos verifica-se ser bastante complexo dado que a movimentação do componente principal torna-se difícil uma vez que este tem de ser transportado de equipamento em equipamento (Camarotto, 1998). Este facto origina a necessidade de aumento das necessidades de equipamento e, conseqüentemente, aumenta a complexidade do controlo e coordenação do planeamento de produção.

No entanto, este tipo de *layout* proporciona oportunidades de trabalho em equipa originando, assim, uma maior satisfação por parte da mesma.

A utilização deste tipo de *layout* possui algumas vantagens, embora, também existam algumas limitações tal como se apresenta na tabela 2.1.

Tabela 2.1 Principais vantagens e limitações da utilização do *layout* por ponto fixo  
(Fonte: Adaptado de Francis & White, 1992)

<b>Layout por Ponto Fixo</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da movimentação do produto;</li> <li>• Promove oportunidades de trabalho em equipa;</li> <li>• Aumento da auto-estima e qualidade na medida em que o produto é fabricado em equipa;</li> <li>• Maior flexibilidade, adaptação a mudanças no design do produto, mix e volumes de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentações de equipamentos, materiais e operadores;</li> <li>• Aumento da necessidade de equipamentos;</li> <li>• Requer supervisionamento;</li> <li>• Aumento do controlo e coordenação do planeamento de produção.</li> </ul>

### 2.3.2 Layout funcional

O **layout funcional**, ou em inglês *process layout*, tem como princípio base a agregação de produtos cujo processo de fabrico se assemelha. Esta agregação vai permitir que a movimentação dos materiais seja o inverso da movimentação no *layout* por ponto fixo. Isto é, os equipamentos permanecem fixos enquanto que os materiais se movimentam entre os postos de trabalho (Camarotto, 1998). Desta forma, origina-se uma clara redução no investimento da aquisição de equipamentos necessários para a fabricação do produto. No entanto, verifica-se ser necessário a existência de um supervisor de produção com o intuito de coordenar e orientar o turno de produção.

O *layout* funcional utiliza-se, essencialmente, quando os produtos fabricados são pouco volumosos como se verifica numa metalomecânica (Muther, 1955).

Um exemplo típico de *layout* funcional apresenta-se na figura 2.3. A partir da análise desta figura sabe-se que o *layout* funcional obtém-se através do agrupamento de processos similares em áreas específicas dando origem a departamentos de processos. O fluxo de informação neste tipo de *layout* torna-se mais elevado dentro do mesmo departamento e reduzido entre os vários departamentos (Gerhardt, 2005).

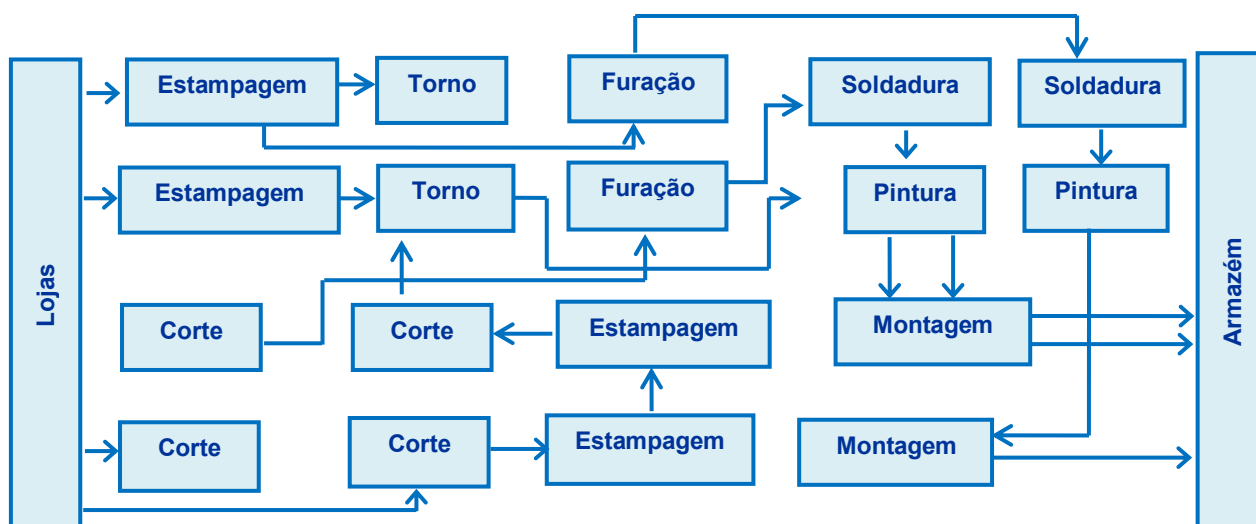


Figura 2.3 Exemplo esquemático de um *layout* funcional  
(Fonte: Adaptado de Tompkins, Bozer, Frazelle, Tanchoco & Trevino, 1996)

À semelhança do *layout* por ponto fixo, também, o *layout* funcional possui principais vantagens e limitações associadas a sua utilização, tabela 2.2.



Tabela 2.2 Principais vantagens e limitações da utilização do *layout* funcional  
(Fonte: Adaptado de Francis & White, 1992)

<b>Layout Funcional</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior flexibilidade na alocação dos equipamentos e dos operadores;</li> <li>• Redução de investimento na aquisição de equipamentos necessários;</li> <li>• Possibilidade de supervisão especializada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento do tratamento do material;</li> <li>• Aumento da complexidade do controlo de produção;</li> <li>• Aumento do tempo total de produção;</li> <li>• Aumento das competências nas tarefas exigidas.</li> </ul>

### 2.3.3 Layout celular

O **layout celular**, ou em inglês *cellular layout*, consiste na agregação de processos com o objectivo de gerar famílias de produtos. Processos diferentes são agrupados em famílias (ou células) onde a sequência de operações, a composição do material e equipamento necessário a sua maquinaria é comum, (Gerhardt, 2005). Este facto proporciona uma melhoria no fluxo de fabricação do produto de forma a minimizar as distâncias percorridas pelo mesmo. Contudo, a fabricação por células apresenta uma grande desvantagem a diminuição da possibilidade da utilização de equipamentos para fins especiais uma vez que em cada célula se pode fabricar mais do que um tipo de produto.

Um exemplo esquemático do *layout* em análise é apresentado na figura 2.4.

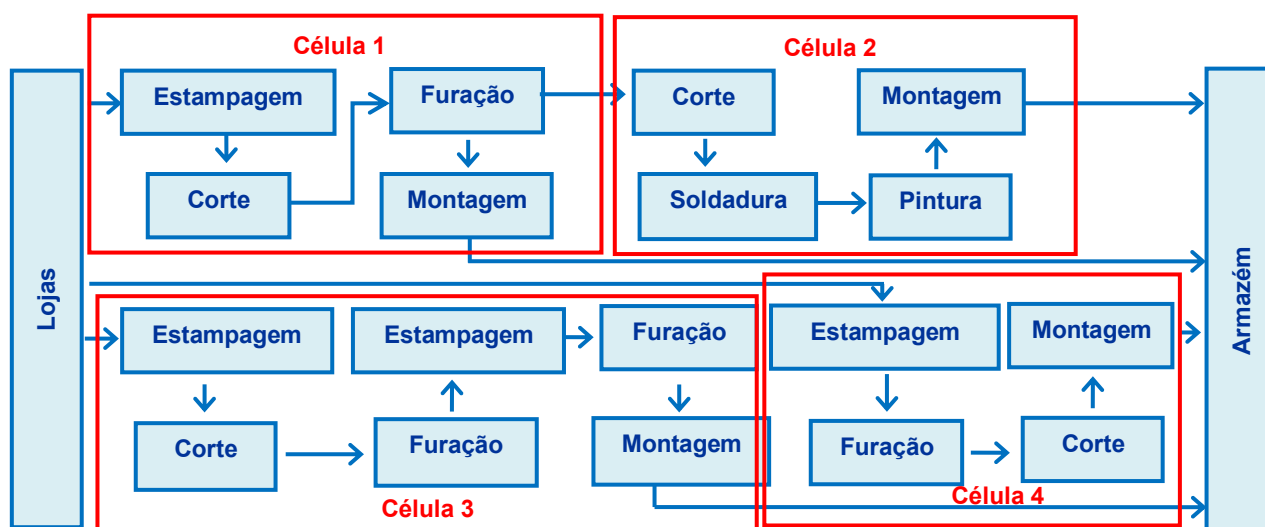


Figura 2.4 Exemplo esquemático de um *layout* celular  
(Fonte: Adaptado de Tompkins, Bozer, Frazelle, Tanchoco & Trevino, 1996)

Analisando a figura 2.4, verifica-se que existe quatro tipos de células diferentes. Estas células indicam que há quatro tipos de processo de fabricação distintos e cada uma delas pode conter mais do que um produto. Os produtos distribuem-se por estas segundo o seu processo de fabrico.

A aplicação prática deste tipo de *layout* relaciona-se muito com processos produtivos na medida em que cada uma das células pode estar associada a uma tecnologia diferente.

Os produtos fabricados no *layout* celular são produzidos em pequenas quantidades (Muther, 1955).

A tabela 2.3 sintetiza as principais vantagens e limitações da implementação do *layout* celular.

Tabela 2.3 Principais vantagens e limitações da utilização do *layout* celular  
(Fonte: Adaptado de Francis & White, 1992)

<b>Layout Celular</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria do ambiente de trabalho devido à possibilidade de trabalho em equipa;</li> <li>• Melhoria do fluxo de linha e minimização das distâncias percorridas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer supervisão especializada;</li> <li>• Aumento das competências nas tarefas exigidas;</li> <li>• Balanceamento de material entre células ou existência de <i>buffers</i>;</li> <li>• Diminuição da possibilidade da utilização de equipamento para fins especiais.</li> </ul>

### 2.3.4 Layout de produto

No **layout de produto** ou denominado em inglês como *product layout*, os equipamentos dispõem-se numa determinada sequência sendo esta sequência determinada pela ordem na qual a matéria-prima deve passar até atingir o seu estado final. Durante esta sequência, os equipamentos estão fixos e os materiais, os operadores movimentam-se e deslocando-se entre as várias estações de trabalho (Camarotto, 1998).

A figura 2.5 apresenta um exemplo esquemático da utilização deste tipo de *layout*. Uma aplicação prática deste relaciona-se com linhas estandardizadas.

Analisando a figura 2.5, verifica-se que o material, inicialmente sob a forma de matéria-prima, entra para o primeiro equipamento onde sofre a primeira transformação. Em seguida desloca-se para o segundo equipamento e, também, aqui o material modifica-se novamente. Quando a sua transformação neste equipamento estiver completa este move-se novamente para o equipamento seguinte. A transformação final do produto está completa quando o este tiver percorrido todo o seu percurso na linha. Este esquema de funcionamento condiciona a velocidade da linha de produção uma vez que esta deve ser definida pela estação de trabalho que possui um maior tempo de duração das tarefas.

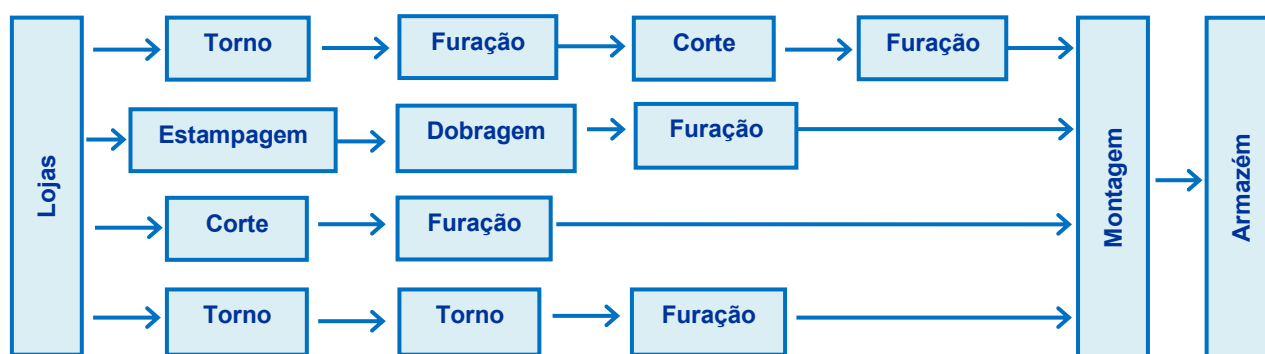


Figura 2.5 Exemplo esquemático de um *layout* de produto  
(Fonte: Adaptado de (Tompkins, Bozer, Frazelle, Tanchoco, & Trevino, 1996)

As principais vantagens e limitações da utilização deste *layout* são apresentadas na tabela 2.4.

Tabela 2.4 Principais vantagens e limitações da utilização do *layout* em Linha  
(Fonte: Adaptado de Francis & White, 1992)

<b>Layout de Produto</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoramento do fluxo de linha devido à sequência de operações;</li> <li>• Redução do tempo total de produção por unidade;</li> <li>• Minimização das distâncias entre as estações de trabalho;</li> <li>• Redução do manuseamento do material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da complexidade da manutenção/avaria do equipamento;</li> <li>• Alterações ao produto implicam a modificação da estrutura da linha;</li> <li>• A velocidade da linha é definida pela estação que tem um tempo de execução maior;</li> <li>• Aumento do investimento em equipamentos de alta qualidade;</li> <li>• Requer supervisão especializada.</li> </ul>

## 2.4 Destaques do capítulo

O presente capítulo pretende introduzir a importância da configuração de uma linha de produção no mercado actual.

Tal como referido neste capítulo, as indústrias viram-se obrigadas a modificar as suas linhas de produção de forma a conseguir satisfazer os requisitos do cliente actual, isto é, a conseguirem introduzir nos seus processos produtivos mais e novos modelos de fabricação, por outras palavras, aumentar a flexibilidade das linhas de produção já instaladas.

Desta forma, o estudo da configuração da linha de montagem existente nas indústrias verifica-se ser bastante importante uma vez que se necessita modificar a configuração das mesmas de forma a otimizar os recursos existentes e a diminuir o investimento necessário.

Neste sentido, este capítulo identificou os principais objectivos aquando o estudo da configuração de linhas de produção e, ainda, caracterizou as diversas tipologias de *layout* existentes numa indústria. Salienta-se, aqui, que as indústrias raramente apresentam uma única tipologia de *layout* na fabricação dos seus produtos, estas conjugam as diversas configurações de forma a alcançarem a melhor disposição para a fabricação dos seus produtos.

As linhas de produção são na sua maioria compostas por diversas formas de produção sendo uma das mais usuais as linhas de montagem. As linhas de montagem à semelhança das linhas de produção, também, apresentam diversas características e formas de configuração sendo muitas das vezes necessário estudar as linhas de montagem para que se consiga otimizar os recursos existentes nas mesmas e adaptar estas a novos modelos de fabricação.

Salienta-se que o conceito de linhas de produção difere do conceito de linhas de montagem uma vez que linhas de produção são linhas nas quais existem mais do que uma forma de produção de um produto. Um caso exemplificativo é a indústria automóvel na medida em que desde que a matéria-prima dá entrada na primeira área de produção, a área de prensagem, até que chega à montagem do produto final, à área das linhas de montagem, o produto percorreu uma linha de produção sendo ela constituída por diversas áreas de produção distintas.

Neste sentido, o capítulo seguinte pretende estudar as linhas de montagem existentes de forma a determinar aquela que se adapte ao mercado actual, isto é, que

apresente um grande nível de flexibilidade de forma a produzir um grande número de modelos.

## **Capítulo III**

### Linhas de Montagem

### 3.1 Introdução

Assim, como, as configurações de linhas de produção sofreram alterações devido ao facto de se adaptarem a um sistema de produção flexível que consiga produzir a quantidade e a variedade de produtos que vá de encontro às necessidades do cliente actual, também, as linhas de montagem se modificaram para garantir a existência de um fluxo contínuo de produção. Em tempos, as linhas de montagem eram concebidas com o intuito de produzir um único produto em grandes quantidades. Actualmente, estas estão configuradas de forma a produzir um determinado número de produtos em pequenas quantidades, por outras palavras, desenvolveram-se tornando-se mais flexíveis.

As linhas de montagem podem ser estudadas sob diversos pontos de vista, isto é podem ser classificadas segundo o fluxo de material, a diversidade do produto e o nível de automação. Cada uma destas classificações constitu-se por diversas linhas de montagem que apresentam características distintas e aplicabilidades diferentes. O *layout* da própria linha de montagem corresponde a uma outra forma de classificá-la. Para uma melhor compreensão deste tema, o presente capítulo caracteriza e descreve cada uma destas classificações e as suas linhas de montagens constituintes.

De entre todas as linhas de montagem existentes, as linhas de montagem mix-modelos são aqueles que apresentam um nível de flexibilidade de produto maior permitindo, assim, satisfazer o objectivo inicial de estudo. Desta forma, estas linhas de montagem apresentam uma especial atenção neste capítulo.

### 3.2 Caracterização de uma linha de montagem

A linha de montagem caracteriza-se por ser uma linha constituída por um conjunto de estações sequenciadas nas quais realizam-se tarefas de montagem de um produto. O produto alocado numa determinada estação de trabalho movimenta-se para a estação de trabalho seguinte através de um transportador como se observa na figura 3.1 (Gonçalves & Almeida, 2002).



Figura 3.1 Esquemática de uma linha de montagem  
(Fonte: Adaptado de Gonçalves & Almeida, 2002)

Os sistemas de transporte mais utilizados para a movimentação dos produtos nas linhas de montagem classificam-se em três categorias, sendo elas (Gerhardt, 2005):

- **Transporte contínuo**, o dispositivo transportador movimenta-se com velocidade constante;
- **Transporte sincronizado**, o dispositivo transportador movimenta-se em intervalos de tempo constantes;
- **Transporte não sincronizado**, o dispositivo transportador movimenta-se de acordo com a velocidade do operador.

Cada uma das estações de trabalho existentes numa linha de montagem responsabiliza-se por efectuar uma determinada montagem parcelar no produto e à medida que este avança nas estações de trabalho, este vai-se completando, de forma a que, quando chegar ao final da linha de montagem o produto encontra-se totalmente acabado (Gokçen & Baykoç, 1999).

Numa estação de trabalho típica considera-se a existência de duas formas de trabalho, sendo que, uma essencialmente composta por trabalho manual que pode em algumas situações necessitar de ferramentas simples; e a outra constituída por duas forças de trabalho: a manual e a automática. Neste último tipo de situação requer-se a utilização de equipamentos semi-automáticos (He & Babayar, 2002).

As estações de trabalho podem, ainda, classificar-se de duas formas distintas: **estações abertas** e **estações fechadas**. Nas estações de trabalho fechadas, o operador não pode violar os limites da sua estação de trabalho para terminar as tarefas a ela designadas. Nas estações de trabalho abertas, existe uma maior flexibilidade, já que, o operador pode utilizar a estação de trabalho seguinte para terminar a execução total das tarefas. É de notar que apenas se permite estações de



trabalho abertas, quando os operadores estão dispostos de forma a que se violem os limites físicos da estação de trabalho não prejudiquem o operador residente na estação de trabalho seguinte (Gerhardt, 2005).

Cada estação de trabalho contém um processo de montagem no qual a tarefa de montagem representa o componente mais pequeno a montar no produto. A alocação de cada uma destas tarefas define-se através do tempo de processo e do diagrama de precedências.

O **tempo de processo** baseia-se no tempo necessário para a execução individual de cada tarefa. O **diagrama de precedências** consiste numa representação gráfica da inter-relação existente entre cada uma das tarefas sendo que cada nó simboliza uma tarefa e cada arco uma precedência.

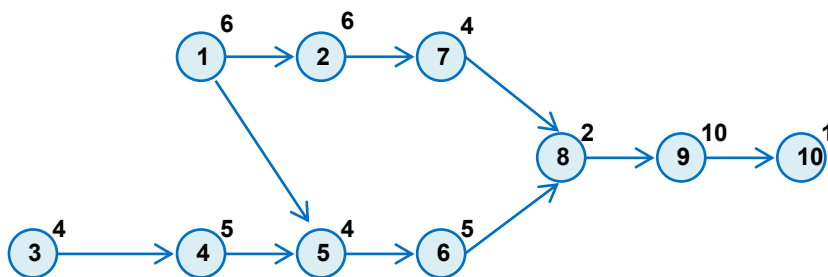


Figura 3.2 Exemplo de um diagrama de precedências  
(Fonte: Adaptado de Becker & Scholl, 2003)

Na figura 3.2 visualiza-se um exemplo de um diagrama de precedências. Este diagrama compõe-se em 10 tarefas distintas tendo a cada uma delas associada uma duração, tempo representado acima de cada arco. Uma análise mais profunda ao diagrama permite identificar, ainda, a existência de precedências directas e precedências indirectas (Becker & Scholl, 2003). Um exemplo de uma precedência directa consiste na tarefa 4 e na tarefa 1, a tarefa 5 apenas pode ter início depois de estas estarem concluídas. A tarefa 3 representa uma precedência indirecta, isto porque, apesar desta não influenciar directamente a tarefa 5, influencia a tarefa antecessora.

De uma forma genérica, a implementação de uma linha de montagem apresenta algumas vantagens, assim como, algumas limitações as quais são apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 Vantagens e limitações da utilização de uma linha de montagem  
(Fonte: Adaptado de Roldão & Ribeiro, 2004)

Linhas de Montagem	
Vantagens	Limitações
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de quantidades elevadas de um produto;</li> <li>• Redução da necessidade de forte especialização;</li> <li>• Redução dos custos unitários de movimentação de material;</li> <li>• Elevadas taxas de utilização dos equipamentos;</li> <li>• Controlo do fluxo de cargas de trabalho.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monotonia do trabalho executado devido à natureza repetitiva do mesmo;</li> <li>• Insatisfação pelo trabalho executado devido à pequena contribuição para a realização de cada produto;</li> <li>• Pouca flexibilidade de resposta para variações na procura do produto;</li> <li>• Sistemas vulneráveis a falhas de equipamento.</li> </ul>

### 3.3 Classificação de linhas de montagem

De forma a responder à elevada necessidade de fabricar uma grande diversidade de produtos, as indústrias desenvolveram as suas linhas de montagem com o intuito de satisfazer este objectivo (Becker & Scholl, 2003). Assim, com o passar dos anos, foi possível observar o crescimento da tipologia das diferentes formas de linhas de montagem. Estas surgiram para dar resposta ao fabrico de diferentes produtos e à quantidade pretendida de cada um dos produtos.

Actualmente, existe uma gama variada de linhas de montagem de tal forma que se podem classificar em diferentes categorias, sendo elas:

- Linhas de montagem segundo o fluxo de material;
- Linhas de montagem segundo a diversidade de produtos;
- Linhas de montagem segundo o nível de automação.

Cada uma destas categorias decompõe-se, ainda, em uma série de linhas de montagem diferentes as quais estão indicadas na figura 3.3.

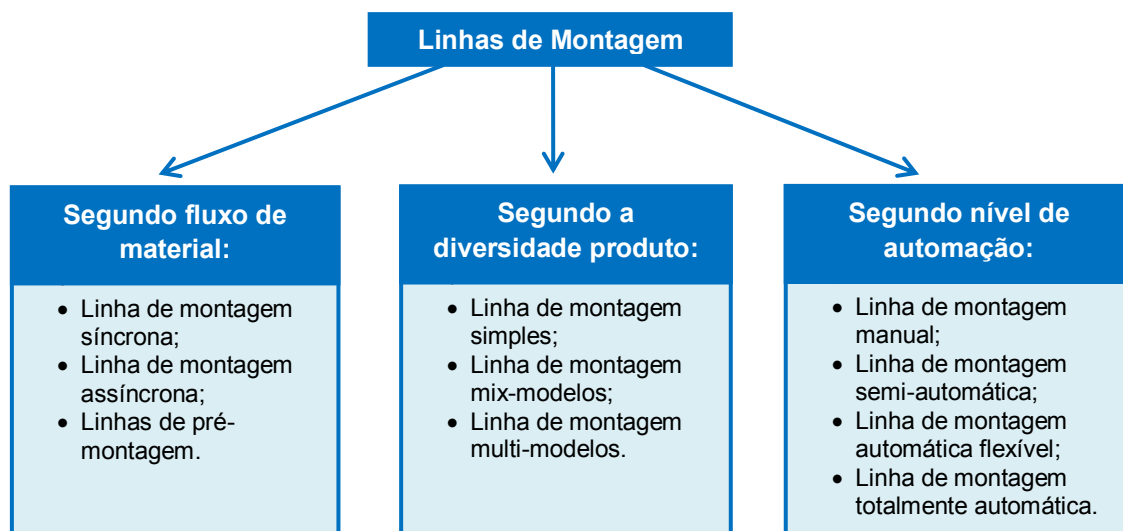


Figura 3.3 Classificação de linhas de montagem

Assim, de uma forma genérica, este subcapítulo pretende caracterizar as diferentes formas das linhas de montagem existentes.

### 3.3.1 Linhas de montagem segundo o fluxo de material

As linhas de montagem segundo o fluxo de material podem ser classificadas como linhas de montagem síncronas, linhas de montagem assíncronas e linhas de pré-montagem.

**Linha de montagem síncrona**, ou de designação em inglês como *paced assembly line*, indica que o tempo de ciclo limita o conteúdo de trabalho existente na estação. O tempo de ciclo representa o tempo máximo dado para a execução total de todas as tarefas nas estações de trabalho (Becker & Scholl, 2003). De uma forma geral, na linha de montagem síncrona o operador executa as suas tarefas durante o tempo de ciclo estabelecido. Quando o tempo de ciclo terminar, a pré-montagem dessa estação deslocação para a estação seguinte. Neste tipo de linhas verifica-se taxa de produção fixa produzindo-se sempre o mesmo número de unidades (Betancourt, 2007). A figura 3.4 apresenta um exemplo esquemático de uma linha de montagem síncrona.

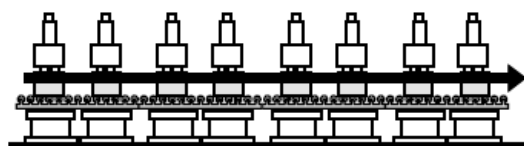


Figura 3.4 Esquemática de uma linha de montagem síncrona  
(Fonte: Lee Q. , 2000)

Um aspecto importante a salientar persiste na diferença existente entre o tempo de ciclo e o **workload** (tempo necessário para execução de todas as tarefas numa estação de trabalho). Essa diferença denomina-se como **tempo morto** (ou em inglês *idle time*). O somatório de todos os tempos mortos de cada uma das estações de trabalho origina o **tempo morto total** (em inglês *total idle time*) (Simaria, 2006).

Nas **linhas de montagem assíncronas**, ou designado em inglês como *unpaced assembly line*, nenhum tempo de ciclo se encontra associado as estações de trabalho. Assim, o operador quando termina a execução da sua tarefa envia a pré-montagem para a estação seguinte. Na figura 3.5 visualiza-se um exemplo esquemático do funcionamento de uma linha de montagem assíncrona.

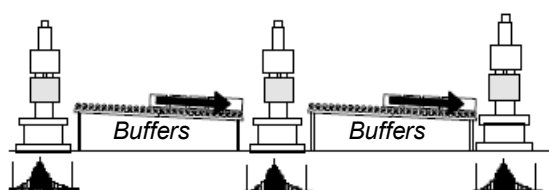


Figura 3.5 Esquemática de uma linha de montagem assíncrona  
(Fonte: Lee Q. , 2000)

Como representado na imagem anterior, esta linha de montagem possui stock intermédio entre cada uma das estações de trabalho. Tal deve-se ao facto da possibilidade da existência de problemas, já que, cada um dos operadores possui o seu próprio ritmo de trabalho e, consequentemente, a duração das actividades para cada um deles pode ser diferente. Deste modo, o problema mais frequente consiste na espera de um dos operadores. A espera pode ocorrer de duas formas: a primeira quando o operador aguarda que o operador da estação anterior lhe envie a pré-montagem; a segunda, o operador espera, porque o operador da estação seguinte não se encontra preparado para receber a pré-montagem (Simaria, 2006).

Assim, para ultrapassar estas dificuldades origina-se stocks intermédios entre as estações de trabalho. Nas linhas de montagens estes stocks intermédios possuem o nome de *buffers* (Malakooti, 1994). Com a criação de *buffers* outras dificuldades surgem no balanceamento e configuração destas linhas de montagem uma vez que se necessita de definir a localização e o dimensionamento dos mesmos (Becker & Scholl, 2003).

Por último apresentam-se as **linhas de pré-montagem** ou em inglês designadas como *feeder lines*. As *feeder lines* representam linhas suplementares nas quais realizam-se pré-montagens do produto a fabricar (Betancourt, 2007). A figura 3.6 apresenta uma esquemática do funcionamento destas linhas de montagem na qual se

observa que as pré-montagens realizadas são posteriormente colocadas na linha de montagem principal.

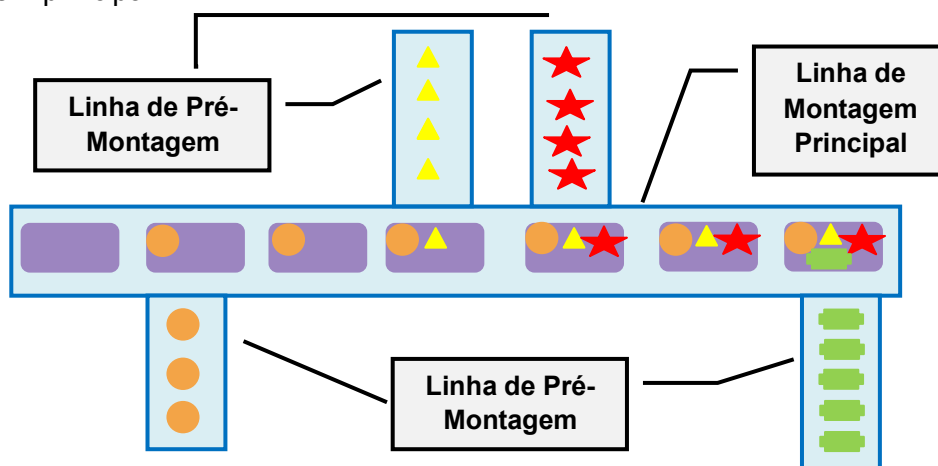


Figura 3.6 Esquemática do funcionamento de uma linha de pré-montagem

A indústria automóvel representa uma das muitas indústrias que utiliza este tipo de linhas de montagem. Deste modo, a figura 3.7 apresenta um esquema no qual se visualiza a existência de duas linhas de pré-montagem sendo que a primeira utilizada-se para a montagem do mecanismo do pára-brisas e a segunda para a montagem pára-choques frontal.

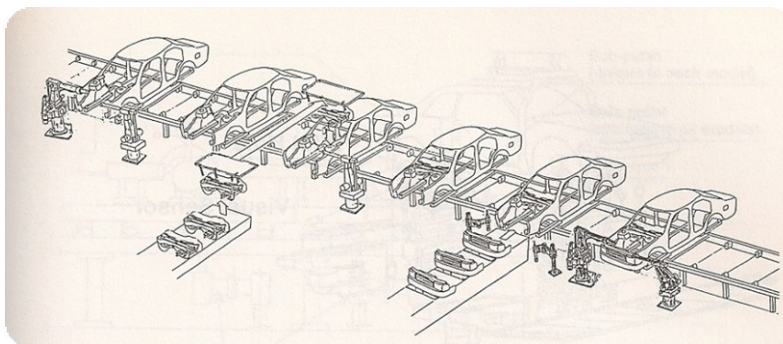


Figura 3.7 Linhas de pré-montagem na indústria automóvel  
(Fonte: Schimokawa, Jurgens, & Fujimoto, 1997)

Após a caracterização de todas estas linhas de montagem, a tabela 3.2 sintetiza as principais vantagens e limitações da utilização de cada um deste tipo de linhas. É de notar que só são referidas as características em que diferem estas linhas de montagem na medida em que a tabela 3.2 resume as principais vantagens e limitações das linhas de montagem no geral e que de alguma forma estas se continuam a repetir nas linhas de montagem em análise.

Tabela 3.2 Vantagens e limitações das linhas segundo o fluxo de material

Linhas de Montagem Segundo o Fluxo de Material		
Tipologia	Vantagens	Limitações
<b>Linhas de Montagem Síncronas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo fixo;</li> <li>• Elevado volume de produção;</li> <li>• Produção de uma gama de produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxa de produção fixa.</li> </ul>
<b>Linhas de Montagem Assíncronas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de uma gama de produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo indefinido;</li> <li>• Criação de buffers;</li> <li>• Taxa de produção indefinida.</li> </ul>
<b>Linhas de Pré-Montagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuição do grau de complexidade da linha de montagem principal;</li> <li>• Produção de uma gama de produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espaço necessário para a construção das linhas de pré-montagem.</li> </ul>

### 3.3.2 Linhas de montagem segundo diversidade de produtos

As linhas de montagem podem, ainda, ser classificadas segundo a diversidade de produtos que fabricam.

A **linha de montagem simples**, ou em inglês designada *single-model assembly line*, representa a primeira linha de montagem a ser desenvolvida. Esta linha caracteriza-se pelo fabrico de um único produto em grande escala (Groover, 1980). Esta apresenta, assim, um elevado nível de produtividade uma vez que os custos de produção associados a um único produto são reduzidos. Contudo, apresenta uma grande limitação, a inflexibilidade. Esta linha está concebida única e exclusivamente para a fabricação de uma variante, o que actualmente não será uma boa opção. Um exemplo notável encontra-se na indústria automóvel, na qual em tempos, Henry Ford dizia “*Any colour as long as it was a black Model T Ford*”.

Actualmente, o mercado tende para a personalização dos produtos. Este facto faz com que as indústrias sejam pressionadas uma vez que estas têm que produzir um número de variantes sem, no entanto, aumentar excessivamente os seus custos (Simaria, 2006). Para minimizar este problema, as indústrias desenvolveram uma linha

de montagem na qual a construção de mais do que um modelo torna-se possível. Este tipo de linha apresenta-se sob duas formas distintas: a linha de montagem mix-modelos e a linha de montagem multi-modelos.

A **linha de montagem mix-modelos**, ou em inglês denominado como *mix-model assembly line*, consiste na produção de diferentes modelos segundo uma determinada ordem. A **linha de montagem multi-modelos**, ou a inglês como *multi-model assembly line*, também, fabrica diversos produtos. Contudo, a sequência de produção define-se de forma diferente. Na linha de montagem multi-modelos entre o fabrico de cada um dos diferentes produtos existe uma paragem de linha para adaptar esta a produto a fabricar. Estas paragens de linha designam-se *setup* (Becker & Scholl, 2003).

A existência deste tipo de linhas de montagem numa indústria indica que os seus níveis de produtividade são elevados, assim como, a sua flexibilidade. Estes factos devem-se à existência de um ciclo de produção curto, baixos volumes de produção e uma elevada diversidade de fabricação (Simaria, 2006). É de notar que de entre as duas linhas apresentadas anteriormente a que apresenta mais flexibilidade é a linha de montagem mix-modelos na medida em que não existem tempos de *setup* entre cada um dos produtos.

Para uma melhor compreensão das designações apresentadas anteriormente, a figura 3.8 demonstra uma esquematização simples de cada uma das linhas de montagem.

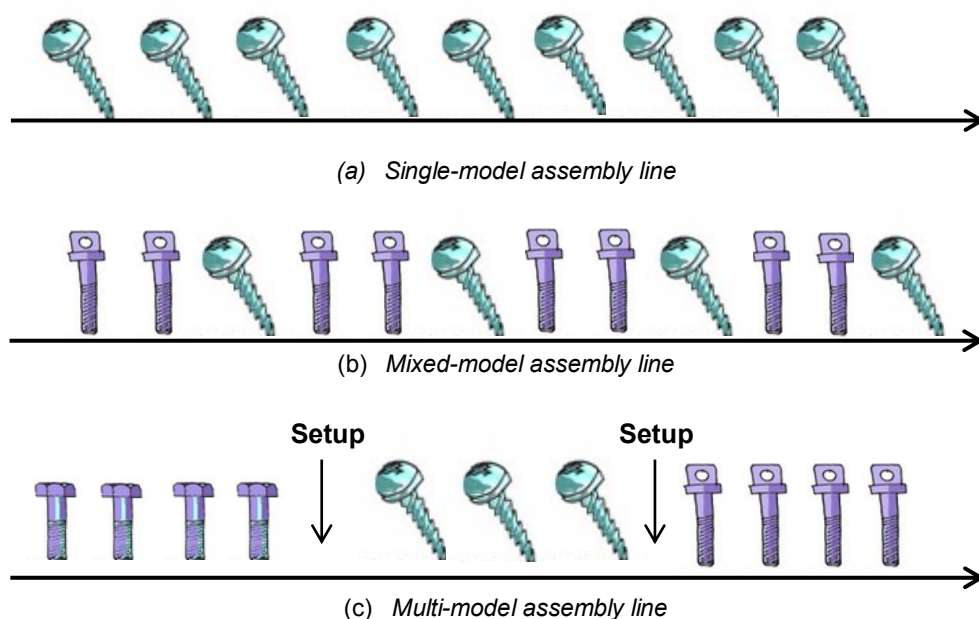


Figura 3.8 Classificação de linhas de montagem segundo a diversidade de produtos

Observando a figura anterior pode-se resumir o esquema de fabricação das diferentes linhas da seguinte forma:

- **Linha de montagem simples:** linha de montagem constituída para o fabrico de um único produto;
- **Linha de montagem mix-modelos:** linha de montagem constituída para o fabrico de mais do que um produto, produção em MIX;
- **Linha de montagem multi-modelos:** linha de montagem constituída para o fabrico de mais do que um produto, produção por *setups*.

Tal como no subcapítulo anterior, a tabela 3.3 resume as principais vantagens e limitações da utilização deste tipo de linhas.

Tabela 3.3 Vantagens e limitações das linhas segundo a diversidade de produto

Linhas de Montagem Segundo a Diversidade de Produto		
Tipologia	Vantagens	Limitações
<b>Linha de Montagem Simples</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevado volume de produção;</li> <li>• Custo de produção unitário reduzido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de um único produto.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem Mix-Modelos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo curto;</li> <li>• Produção de uma gama de produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo volume de produção.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem Multi-Modelos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo de ciclo curto;</li> <li>• Produção de uma gama de produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo volume de produção;</li> <li>• Existência de <i>setups</i>.</li> </ul>

### 3.3.3 Linhas de montagem segundo o nível de automação

Os autores *Heilala* e *Voho* defendem que as linhas de montagem podem apresentar diversos níveis de automação (Heilala & Voho, 2001):

- Linha de montagem manual;
- Linha de montagem semi-automática;
- Linha de montagem automática flexível;
- Linha de montagem totalmente automática.



As **linhas de montagem manuais**, ou em inglês designadas como *manual assembly line*, caracterizam-se por ser linhas de montagem utilizadas para a produção de material frágil que requer algum tipo de cuidado e para material classificado como “material especial”. A designação de “material especial” associa-se a produtos que apresentam um elevado grau de qualidade, exemplo disso são as motos *Harley Davidson’s* (Betancourt, 2007). O processo de montagem destas motos efectua-se na sua totalidade por meios humanos como se pode visualizar na figura 3.9.



Figura 3.9 Linha de montagem manual para a *Harley Davidson’s motorcycles*  
(Fonte: [www.mynorthwest.com/?nid=21&sid=189487](http://www.mynorthwest.com/?nid=21&sid=189487))

As linhas de montagem manuais apresentam, assim, um elevado grau de flexibilidade uma vez que a mão-de-obra humana permite flexibilidade. A este grau de flexibilidade está, também, associado o número elevado de variante que podem ser fabricadas. Contudo, e devido ao elevado número de variantes, o volume de produção é baixo. O gráfico apresentado na figura 3.10 contém a relação entre as diversas características referenciadas anteriormente. Uma interpretação semelhante pode ser realizada para as restantes linhas de montagem.

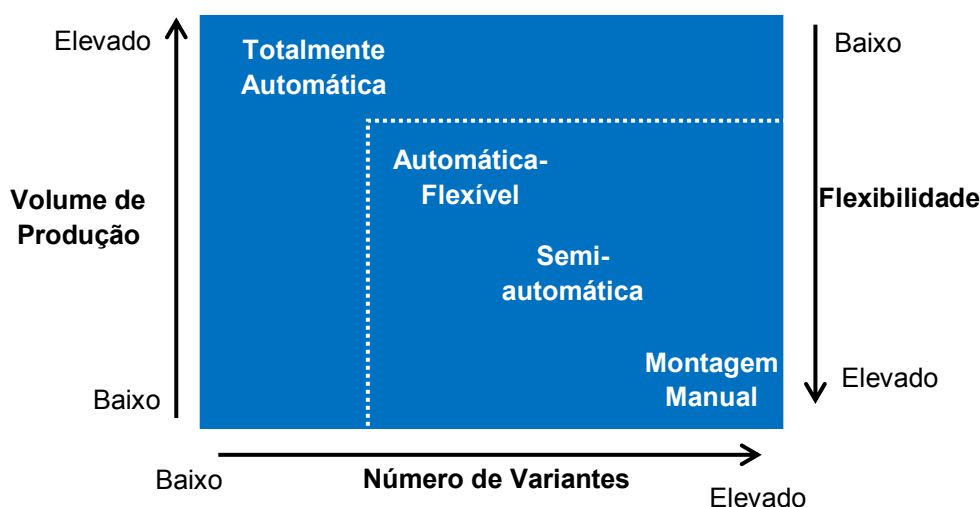


Figura 3.10 Linha de montagem versus flexibilidade  
(Fonte: Adaptado de Heilala & Voho, 2001)

Uma outra forma de apresentar os diversos níveis de automação para os diferentes volumes de produção encontra-se na figura 3.11. Analisando de uma forma generalizada, baixos níveis de produção utilizam linhas manuais enquanto que elevados níveis de produção requerem a utilização de linhas automatizadas.

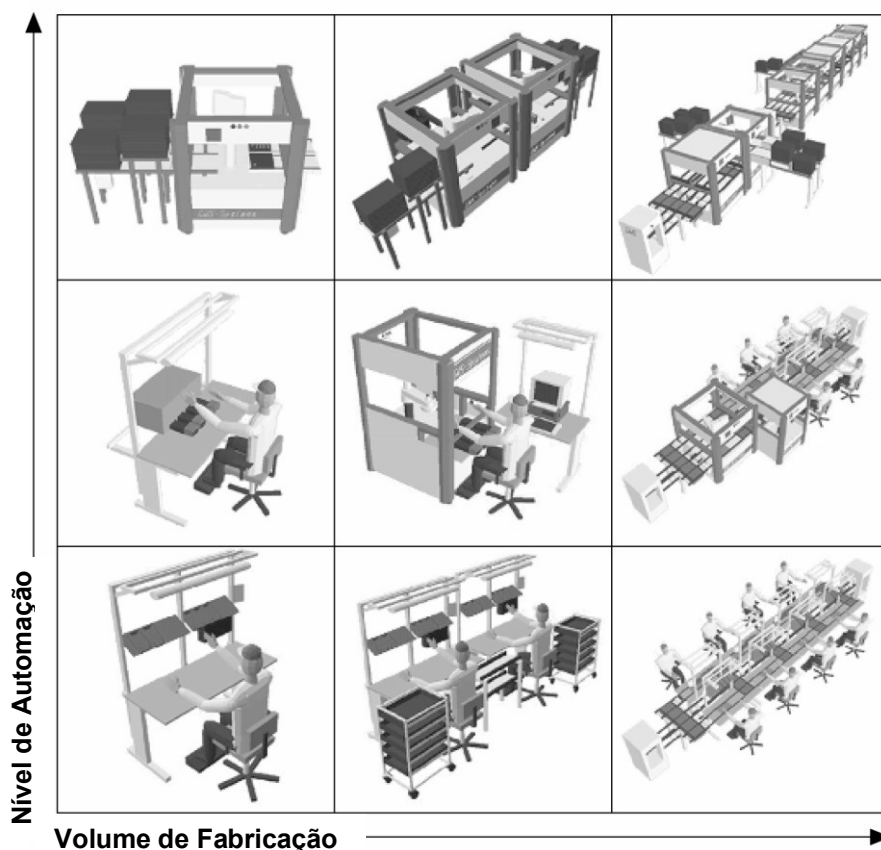


Figura 3.11 Nível de automação versus volume de fabricação  
(Fonte: Adaptado de Heilala & Voho, 2001)

As **linhas de montagem semi-automáticas**, ou a inglês *semi-automatic assembly line*, e como o próprio nome sugere, são linhas de montagem constituídas por força de trabalho humana e força de trabalho mecânica. Em regra, este nível de automatização utiliza-se para estações de trabalho problemáticas, nomeadamente, estações de trabalho que apresentam tempo de processamento elevado ou para estações de trabalho que contenham posturas ergonómicas incorrectas (Heilala & Voho, 2001).

A figura 3.12 apresenta um exemplo de uma das situações problemáticas descritas anteriormente. Observando a figura verifica-se que a estação de trabalho apresentada refere-se à montagem do pára-brisas. A postura ergonómica neste tipo de montagem deve ser analisada uma vez que na maioria das vezes os operadores necessitam de efectuar algum esforço, já que, este objecto pode atingir um peso considerado. Desta

forma, a melhor opção para solucionar este problema passa pela instalação de um equipamento que permite a montagem do pára-brisas.

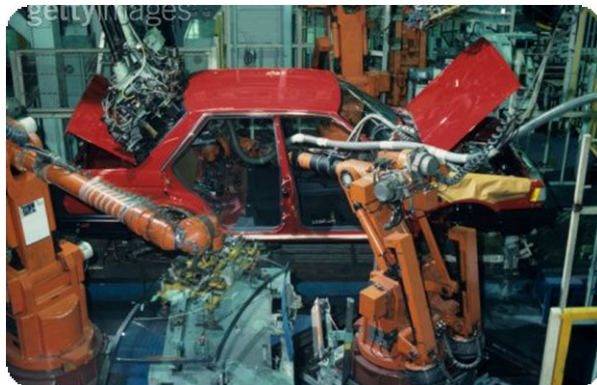


Figura 3.12 Montagem do pára-brisas  
(Fonte: [www.gettyimages.com/.../200361835-001/Photodisc](http://www.gettyimages.com/.../200361835-001/Photodisc))

Contudo, a instalação deste tipo de linhas apresenta algumas limitações, nomeadamente, o número de produtos a fabricar (ver gráfico da figura 3.10). Tal deve-se ao facto de o equipamento estar concebido para efectuar uma determinada montagem num determinado produto.

A um nível de automatização mais elevado apresenta-se a **linha de montagem automática flexível** (*flexible automatic assembly line*) e a **linha de montagem totalmente automática** (*dedicated automatic assembly line*). A principal diferença entre elas baseia-se no volume de produção. A primeira utiliza-se para um volumes de produção elevado e a segunda para uma produção em massa (Heilala & Voho, 2001). A figura 3.13 apresenta um exemplo de uma linha de montagem totalmente automática uma vez que na figura observa-se a passagem do veículo por várias estações de trabalho automatizadas.



Figura 3.13 Linha de montagem totalmente automatizada na indústria automóvel  
(Fonte: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/ten\\_things\\_you\\_should\\_know\\_5.html](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/ten_things_you_should_know_5.html))

Com a instalação deste tipo de linhas torna-se possível reduzir o espaço físico, reduzir a mão-de-obra humana, reduzir o manuseamento de material, melhorar os níveis de stock e, conseqüentemente, aumentar a produtividade. Em contrapartida, os níveis de investimentos na aquisição dos equipamentos são bastante elevados (Betancourt, 2007).

A tabela 3.4 resume as principais vantagens e limitações das linhas de montagem segundo o nível de automação.

Tabela 3.4 Vantagens e limitações das linhas segundo o nível de automação

Linhas de Montagem Segundo a Nível de Automação		
Tipologia	Vantagens	Limitações
<b>Linha de Montagem Manual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de uma gama de produtos;</li> <li>• Produção de material frágil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume de produção pequeno.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem semi-automática</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de um grande número de produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volume de produção baixo.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem automática flexível</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do espaço físico;</li> <li>• Redução do manuseamento de material;</li> <li>• Volume de produção grande.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de um número pequeno de produto.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem Totalmente Automática</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do espaço físico;</li> <li>• Redução do manuseamento de material;</li> <li>• Volume elevado de produção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de um único produto.</li> </ul>

### 3.4 Configuração de uma linha de montagem

Devido à rígida orientação do processo existente nas linhas de montagem, a configuração destas deve-se na sua maioria ao fluxo do material ao longo da linha (Becker & Scholl, 2003). Não obstante, este facto existe diversas possibilidades.

#### 3.4.1 Linha de montagem linear

De uma forma geral, as **linhas de montagem lineares** são linhas rectas onde fisicamente as estações de trabalho estão dispostas em linha (figura 3.14).

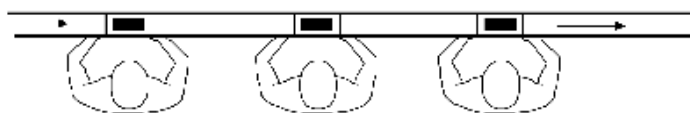


Figura 3.14 Esquemática de uma linha de montagem recta  
(Fonte: Heilala & Voho, 2001)

Um exemplo real da utilização desta linha encontra-se na figura 3.15. Analisando a figura verifica-se que apenas um dos lados da linha é ocupados pelos operadores. A implementação desta linha de montagem, na produção *Model T*, permitiu reduzir o seu tempo de fabricação substancialmente.



Figura 3.15 Linha de montagem linear para o *Ford Model T*  
(Fonte: [http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Division\\_of\\_labor](http://www.newworldencyclopedia.org/entry/Division_of_labor))

As linhas de montagem lineares, no entanto, apresentam grandes limitações uma vez que apenas um dos lados da linha destina-se a ser ocupado pelos operadores dificultando, assim, o balanceamento da mesma.

### 3.4.2 Linhas de montagem em U

Com a implementação do JIT, as indústrias optaram pela mudança da configuração das linhas de montagem passando agora a utilizar linhas de montagem em forma de U. Estas linhas, como o próprio nome indica, fisicamente assemelham-se à forma de um U o que possibilita retirar algumas vantagens. Ao dispor de uma linha de montagem nesta configuração sabe-se que o início e o final da mesma encontrasse bastante próximo, o que permite com que os operadores possam executar tarefas em ambos os lados da linha. O mesmo não aconteceria numa linha de montagem linear

(Sá, Vilarinho & Simaria, 2009). No entanto, esta configuração de linha de montagem não permite a fabricação de todos os tipos de produto.

Se observarmos a imagem da figura 3.16 compreende-se o facto descrito anteriormente uma vez que um operador pode executar uma tarefa de um lado da linha e instantes mais tarde executar uma outra tarefa no outro lado da linha. Os operadores presentes neste tipo de linhas deverão possuir capacidades para lidar com diferentes tarefas de montagem.

A utilização destas linhas permitem, ainda, que o número de trabalhadores possa ser reduzido, isto, quando comparado a uma linha de montagem linear. Este facto, também, pode ser visualizado na figura 3.16.

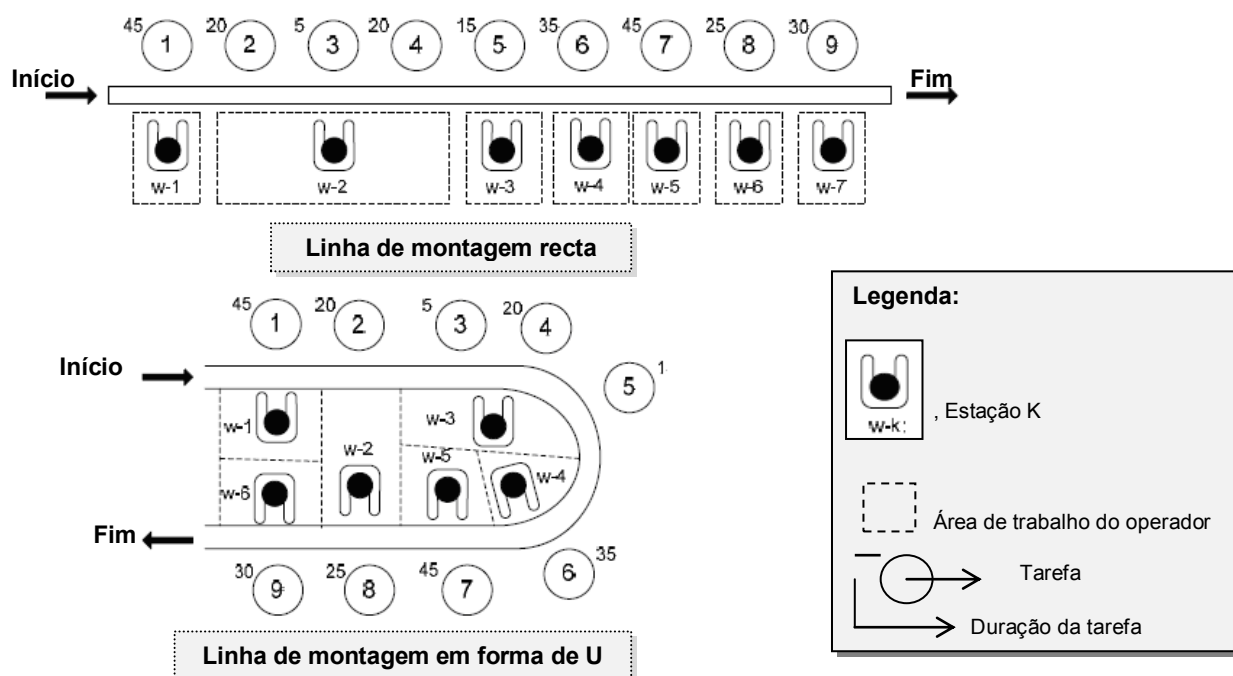


Figura 3.16 Balanceamento de linha recta versus linha em U  
(Fonte: Adaptado de Sá, Vilarinho & Simaria, 2009)

Analisando, assim, em pormenor a imagem verifica-se que a linha recta possui 7 operadores e a linha em U possui 6 operadores, ocorreu a redução de um operador. Isto, porque, o balanceamento neste tipo de linhas torna-se mais flexível, já que, os operadores podem movimentar-se mais do que uma estação de trabalho.



### 3.4.3 Linha de montagem em C

Uma outra configuração possível de uma linha de montagem apresenta a forma de um C como se pode observar na figura 3.17. Esta configuração possui as mesmas vantagens que a configuração anterior, nomeadamente, o operador poderá trabalhar em mais do que uma estação de trabalho.

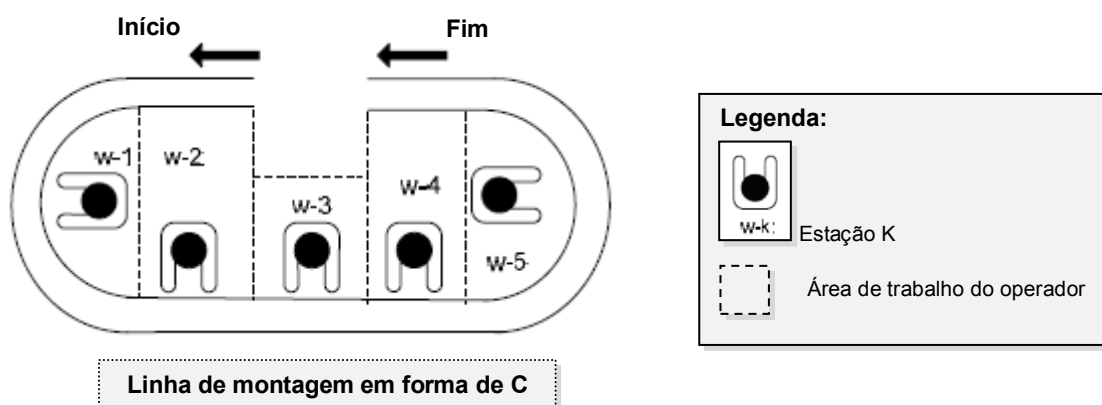


Figura 3.17 Esquemática de uma linha de montagem em forma de C  
(Fonte: Adaptado de Simaria, 2006)

### 3.4.4 Linhas de montagem circular

As **linhas circulares** são uma outra forma de apresentação de uma linha de montagem. Nesta configuração, as estações de trabalho estão dispostas em círculo e nas quais o produto está fixo a um *conveyor* circular ou a um mecanismo semelhante. Este sistema permite que o produto percorra cada uma das estações até chegar à estação final (Betancourt, 2007).



Figura 3.18 Linha de montagem circular  
(Fonte: [www2.uol.com.br/bestcars/hm/295-joao-gurgel-5.htm](http://www2.uol.com.br/bestcars/hm/295-joao-gurgel-5.htm))

Um exemplo específico desta linha de montagem encontra-se na figura 3.18 na qual se visualiza a aplicação deste tipo de linhas a um caso real na indústria automóvel para a fabricação do modelo *Gurgel Delta*. O veículo desloca-se de uma estação para a outra através de um *conveyor* circular.

### 3.4.5 Linhas de montagem paralelas

De todas as configurações, a linha de montagem em forma recta é aquela que apresenta uma menor flexibilidade. Assim, e para que esta forma de linha possa apresentar níveis de flexibilidade elevados aplica-se o conceito de paralelismo. O paralelismo consiste na instalação de linhas paralelas à linha original, cada uma delas destina-se a um produto ou a uma família de produtos (Gerhardt, 2005).

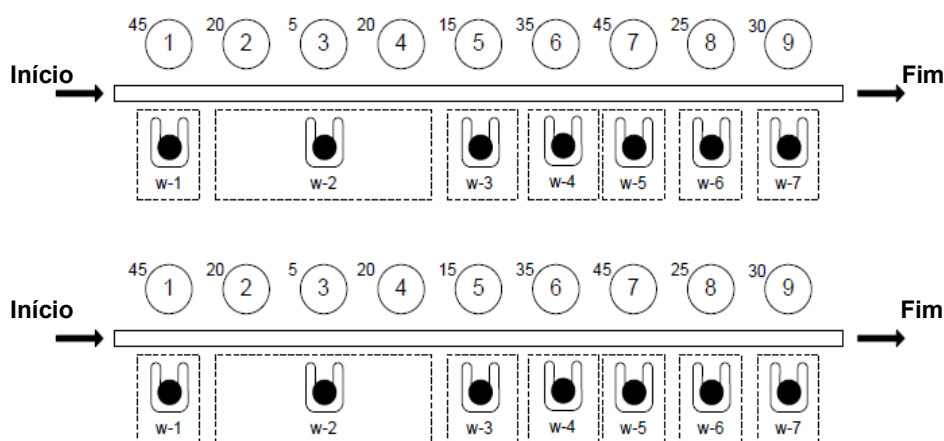


Figura 3.19 Esquemática do paralelismo nas linhas de montagem  
(Fonte: Adaptado de Simaria, 2006)

Linhas paralelas, exemplo esquemático na figura 3.19, têm associadas a si grandes vantagens, como, a rápida resposta a variações na procura dos produtos e alterações no número de estações de trabalho em uso. Também, se verifica que o tempo de ciclo tem tendência para aumentar o que melhora o balanceamento das linhas uma vez que permite um número maior de combinações possíveis. Outra das vantagens consiste no desenvolvimento das capacidades dos operadores, dado que, executam um número elevado de tarefas.

No entanto, a instalação de paralelismo nas linhas causa alguns transtornos. Um dos maiores problemas associados à instalação de linhas paralelas consiste na determinação do número de linhas a instalar não só pelo número em si, mas também, pelo aumento do capital investido.



A quando da instalação deste tipo de linhas, o número de tarefas executadas pelos operadores aumenta o que contraria umas das principais vantagens da utilização de linhas de montagem. Isto é, como já referido anteriormente, os operadores integrados nestas linhas possuem capacidades mais desenvolvidas o que numa linha de montagem linear isto não seria de esperar. A execução de tarefas simples facilita, também, o treino necessário dado ao operador.

O paralelismo para além de ser aplicado a linhas de montagem, também, pode ser aplicado a estações de trabalho. Esta situação verifica-se quando ocorrem aumentos elevados na procura que conseqüentemente originam tempos de processamento superiores ao tempo de ciclo existente na linha. Assim, para ultrapassar esta situação implementa-se estações de trabalho paralelas (Simaria, 2006).

Nas estações de trabalho paralelas as mesmas operações são distribuídas por diferentes operadores de forma a diminuir o tempo de ciclo associado à estação original. O tempo de ciclo da nova estação depende do número de réplicas instaladas (Becker & Scholl, 2003).

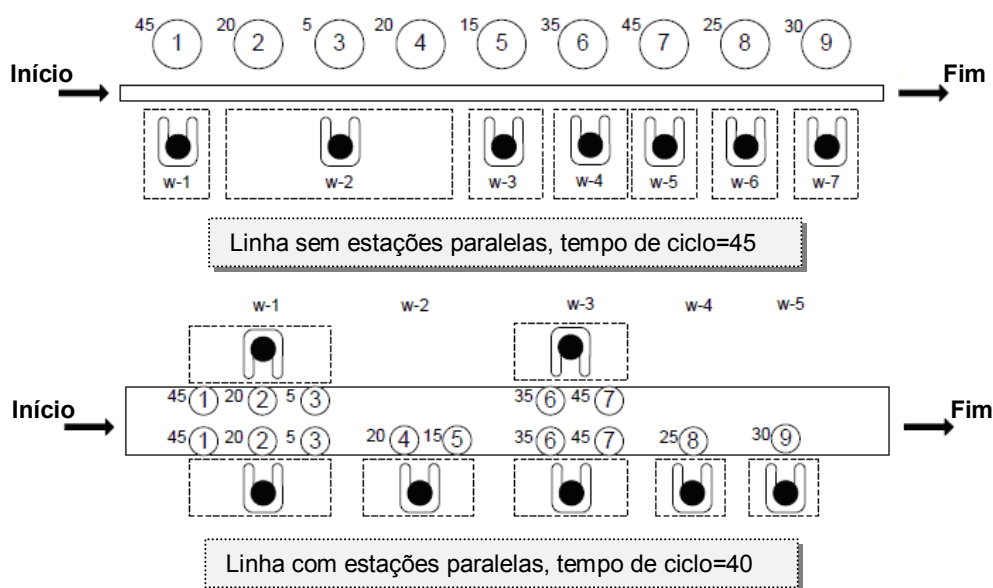


Figura 3.20 Esquemática do paralelismo nas estações de trabalho  
(Fonte: Adaptado de Simaria, 2006)

Assim, observando a figura 3.20 verifica-se que o tempo de ciclo da linha original é de 45 unidades. Este tempo de ciclo obtém-se através da estação que apresenta um maior tempo de processamento. Para diminuir este tempo de ciclo, instalou-se estações paralelas para as actividades onde o tempo de processamento era mais elevado, estação W-1 e estação W-5. Como nestas estações existem agora dois

operadores rebalanceou-se a linha. Na situação actual, a linha apresenta um tempo de ciclo de 40 unidades uma vez que o somatório de todas as actividades executadas por um operador instalado nas estações em paralelo é de 80 e como o número de réplicas são duas, o tempo de ciclo é metade desse valor.

A utilização de paralelismo nas estações de trabalho tornou-se uma prática comum, já que, proporciona um aumento de flexibilidade não só na realocação das tarefas, mas também, no controlo do tempo de ciclo. Contudo, se as réplicas das estações criadas não forem de alguma forma controladas, a vantagem da utilização de linhas de montagem pode ser perdida. O mesmo acontece com as réplicas das linhas de montagem instaladas (Simaria, 2006).

### 3.4.6 Linhas de montagem de dois lados

Uma outra configuração possível, e visualmente semelhante ao paralelismo, são as **linhas de montagem de dois lados** ou em inglês denominada como *two-sided assembly line*. As linhas dois lados, como o próprio nome indica, são linhas de montagem nas quais existe dois lados, o lado direito e o lado esquerdo. Os operadores, nesta configuração, podem executar trabalho em ambos os lados da linha ou simplesmente trabalharem só de um lado, sem que exista do outro lado um outro colega (Betancourt, 2007). A forma mais comum desta aplicação consiste na existência de estações de ambos os lados da linha e as quais dispõem-se frente a frente, como se observar na figura 3.21. Os operadores embora estejam frente a frente estes não executam as mesmas operações. Contrariamente ao que acontecia nas estações de trabalho paralelas onde cada operador executava as mesmas tarefas.

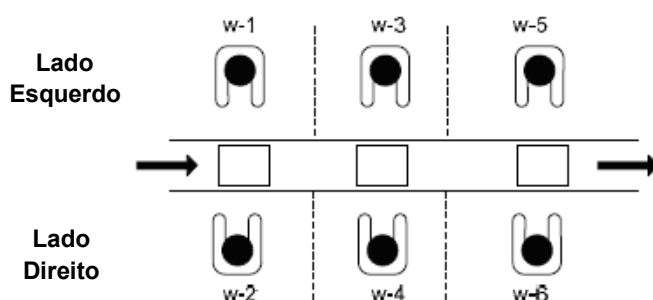


Figura 3.21 Esquemática da linha de dois lados  
(Fonte: Adaptado de Simaria, 2006)

Estas linhas de montagem utilizam-se na sua maioria para a produção de produtos de grandes dimensões, como por exemplo, o fabrico de um carro, de um autocarro ou

até mesmo um caminhão. A figura 3.22 e figura 3.23 ilustra dois exemplos práticos deste tipo de linhas, nomeadamente, na fabricação do caminhão da *Mercedes Benz* e do *Ford Fiesta* (Lee, Kim & Kim, 2001).



Figura 3.22 Linha de montagem de dois lados para um caminhão  
(Fonte: [http://200.245.129.61/noticias/Setembro/Linha\\_Prod/popexpand.htm](http://200.245.129.61/noticias/Setembro/Linha_Prod/popexpand.htm))



Figura 3.23 Linha de montagem de dois lados para um automóvel  
(Fonte: [www.abc.net.au/news/photos/2007/11/09/2087167.htm](http://www.abc.net.au/news/photos/2007/11/09/2087167.htm))

O processo de montagem deste tipo de produtos diferencia-se da montagem de produtos de menores dimensões. A principal diferença consiste no volume do produto a ser fabricado uma vez que quando existe uma tarefa específica para um dos lados da linha e a estação de trabalho presente não se encontra do mesmo lado, a movimentação do produto torna-se complicada (Simaria, 2006).

A utilização deste tipo de linhas proporciona uma diminuição do tamanho da linha, do número de equipamentos a utilizar e da movimentação de materiais (Kim, Kim & Kim, 2000).

Em contrapartida a todas estas vantagens existe um constrangimento, nomeadamente, na definição das precedências. No planeamento de uma linha de montagem torna-se necessário ter em atenção sequência de montagem do produto de forma a definir correctamente as precedências do mesmo. No entanto, quando se fala de linhas de dois lados esta atenção deve ser redobrada uma vez que uma má definição das precedências pode causar interferências nos operadores que trabalham frente a frente. Esta interferência define-se como o tempo de espera que o operador de um dos lados da estação tem até iniciar o seu trabalho. O tempo de espera termina quando o operador do outro lado da estação finalizar o seu. Este tempo de espera denomina-se como tempo morto (Simaria, 2006), já definido na secção 3.3.1 deste trabalho. Na figura 3.24 observa-se um exemplo de uma interferência.

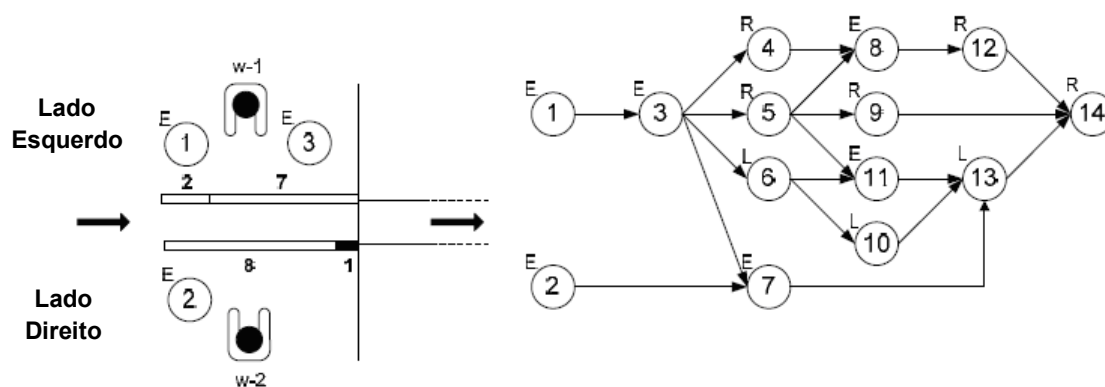


Figura 3.24 Interferência numa linha de montagem de dois lados  
(Fonte: Adaptado de Simaria, 2006)

O diagrama de precedência presente na figura anterior tem associado a cada tarefa uma letra, sendo que, a letra R significa lado direito (*right side*), a letra L lado esquerdo (*left side*) e a letra E qualquer lado (*either side*). Através de uma pequena análise ao mesmo verifica-se que a tarefa 1 e a tarefa 2 não têm associado a si nenhum lado da linha específico e sabe-se, também, que não existe qualquer precedência entre elas. Contudo, o mesmo não acontece com a tarefa 3 e com a tarefa 7. A tarefa 3 só poderá ter início com a tarefa 1 terminada e a 7 com as tarefas 3 e 2 finalizadas.

Assim, e agora observando o esquema do lado esquerdo da figura 3.24, verifica-se que ao lado esquerdo da estação está atribuído a tarefa 1 e tarefa 3 com um tempo de ciclo de 9 unidades de tempo e do lado direito da estação está atribuído a tarefa 2 que tem a duração de 8 unidades de tempo. Neste lado da estação, existe uma folga de 1 unidade de tempo na qual poderia ser realizado alguma operação. Contudo, se se observar o diagrama de precedência sabe-se que a tarefa seguinte é a tarefa 7 e que esta depende da finalização da tarefa 3. O diagrama indica, também, que não existe mais nenhuma tarefa que possa ser iniciada agora. Deste modo, a 1 unidade de tempo em sobra representa o tempo morto que teve origem na interferência da tarefa 3 com a tarefa 7.

À semelhança dos subcapítulos anteriores, também, nesta secção se pode apresentar uma tabela resumo das principais vantagens e desvantagens das diferentes formas de configuração de linhas de montagem apresentadas até ao momento, tabela 3.5.

Tabela 3.5 Vantagens e limitações das linhas segundo a sua configuração

Linhas de Montagem Segundo a sua Configuração		
Tipologia	Vantagens	Limitações
<b>Linha de Montagem Linear</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução do tempo de fabricação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocupação de um único lado da linha.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem em U, em C e Circular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior flexibilidade ao nível do balanceamento;</li> <li>• Redução do número de operadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de produto a fabricar.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem Paralela</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior flexibilidade ao nível do balanceamento;</li> <li>• Maior flexibilidade de resposta a variações na procura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento na instalação do paralelismo;</li> <li>• Tempo de ciclo maior.</li> </ul>
<b>Linha de Montagem de dois lados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da flexibilidade ao nível do balanceamento;</li> <li>• Diminuição do material e equipamento necessário;</li> <li>• Diminuição na movimentação de materiais.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Balanceamento da linha bastante complexo;</li> <li>• Possibilidade da existência de interferências entre os operadores.</li> </ul>

### 3.5 Balanceamento de linhas de montagem

O balanceamento de uma linha de montagem consiste na alocação de tarefas a estações de trabalho de modo a que as relações de precedência entre as estações sejam satisfeitas e a duração total das actividades em todas as estações de trabalho seja aproximadamente a mesma (Aguiar, Peinado & Graeml, 2007). O balanceamento correcto de uma linha de montagem possibilita a optimização da capacidade da mesma (Erel & Gokcen, 1999).

Um problema clássico de balanceamento de linhas de montagem caracteriza-se por alocar cada tarefa a uma estação de trabalho de forma a não exceder o tempo de ciclo determinado, a minimizar os tempos mortos e verificar a sequenciação de todas as tarefas (Rekiek, Dolgui & Delchambre, 2002).

Uma linha de montagem balanceada implica uma melhor utilização dos recursos produtivos e, conseqüentemente, menores custos de produção devido à diminuição do investimento em equipamento, fluxo de materiais, número de operadores entre outros factores (Gerhardt, 2005).

### 3.5.1 Classificação de problemas de balanceamento de linhas de montagem

Os problemas de balanceamento de linhas de montagem podem, de uma forma geral, serem classificados. Esta classificação deve-se em grande parte à configuração da linha de montagem instalada. Contudo, outros factores poderão condicionar o tipo de balanceamento.

O **problema de balanceamento de linhas de montagem simples** (SALBP) utiliza-se para linhas de montagem lineares nas quais apenas se processa a fabricação de um tipo de produto. Em SALBP, o tempo de processamento de cada tarefa verifica-se ser inferior ao tempo de ciclo e o trabalho executado nestas estações pode ser de carácter manual ou requerer a utilização de algum tipo de equipamento. Cada uma das tarefas apenas pode ser executada numa determinada estação, isto é, as tarefas não devem ser dividida entre estações. Outras restrições, presentes neste tipo de problema, consistem na verificação do cumprimento de todas as precedências e na não ultrapassagem do tempo de ciclo definido (Scholl & Becker, 2006).

Os SALBP podem, ainda, serem classificados de acordo com a sua função objectivo (Scholl & Becker, 2006) (Scholl & Becker, 1996):

- **SALBP-1:** minimização do número de estações de trabalho dado um determinado tempo de ciclo;
- **SALBP-2:** minimização do tempo de ciclo dado um determinado número de estações de trabalho;
- **SALBP-E:** maximização da eficiência da linha, isto é, minimização simultânea do número de estações de trabalho e do tempo de ciclo;
- **SALBP-F:** consiste na verificação da existência ou não de uma possibilidade viável de balanceamento dada uma combinação de número de estações e tempo de ciclo.

A tabela 3.6 resume a informação acima transcrita.

Tabela 3.6 Classificação de SALBP  
(Fonte: Adaptado de Diniz, 2005)

Número de Estações	Tempo de ciclo	
	Dado	Minimização
Dado	SALBP-F	SALBP-2
Minimização	SALBP-1	SALBP-E

Segundo *Betancourt* (2007), o primeiro estudo efectuado para a resolução de SALBP foi elaborado pelo *Helgeson* (1954), sendo mais tarde, registado a primeira publicação de uma forma matemática da resolução deste tipo de problemas por *Salveson* (1955). Um outro modelo proposto para o estudo de SALBP foi desenvolvido por *Bowman* (1960) e mais tarde melhorado por *White* (1961), *Thangavelu* e *Shety* (1971) e por *Patterson* e *Albracht* (1975).

Os problemas de balanceamento que não se enquadram nas características descritas anteriormente classificam-se como **problemas gerais de balanceamento de linhas de montagem** (GALBP). Os problemas mais comuns de GALBP são (Betancourt, 2007):

- **Problema de balanceamento de linhas de montagem em U (UALBP):** aplica-se a linhas de montagem em forma de U nas quais torna-se essencial ter em atenção que o facto de os operadores poderem executar tarefas em mais do que uma estação de trabalho (ver secção 3.4.2). Este tipo de problemas foi estudado por *Scholl* e *Klein* (1999), *Miltenburg* (1998, 2002), *Milltenburg* e *Wijngaard* (1994), *Ajenblit* e *Wainwright* (1998);
- **Problema de balanceamento de linhas de montagem mix-modelos (MALBP):** este tipo de problema surge quando a linha de montagem está especializada para a montagem de mais do que um produto. A sequenciação dos produtos define-se através do mix (ver secção 3.3.2). É de notar que tal como SALBP, também, o MALBP pode ser classificado segundo a sua função objectivo:
  - **MALBP-1:** minimização do número de estações de trabalho dado um determinado tempo de ciclo;
  - **MALBP-2:** minimização do tempo de ciclo dado um determinado número de estações de trabalho;
  - **MALBP-E:** maximização da eficiência da linha.

*Kubiak* e *Suresh* (1991), *Bared* (1992), *Bukchin* (1998), *Merengo* (1999), *Bukchin* (2002), *Karabati* e *Sayin* (2003), *Ponnambalant* (2003), *Spina* (2003), *Buckchin* e *Rabionowitch* (2005) e *Simaria* (2006) são alguns dos autores que têm desenvolvido estudos aprofundados sobre este tema.

- **Problema de balanceamento de linhas de montagem automáticas (RALBP):** aplica-se a linhas de montagem nas quais existem algum tipo de equipamento automatizado (ver secção 3.3.3). Os seguintes autores como



*Rubinovitz e Buckchin (1993), Tsa e Yao (1993) e Hong e Cho (1999)* desenvolveram estudos relacionados com este tipo de problemas;

- **Problema de balanceamento de linhas de montagem multi-objectivos (MOALBP):** este problema caracteriza-se por considerar várias funções objectivo em simultâneo. Também, aqui, diferentes autores desenvolveram estudos a respeito deste tipo de problemas de entre os quais se destacam *Kim (1996), Malakooti e Kumar (1996), McMullen e Frazier (1998) e Bukchin e Masin (2004)*;
- **Problemas de balanceamento segundo o *layout* e características da linha:** este tipo de problema engloba balanceamento em linhas de montagem paralelas, linhas de montagem de dois lados e ainda linhas de montagem com estações em paralelo. Para um estudo aprofundado relativo a estes temas a seguinte literatura poderá ser consultada: *Kim (2000), Barthodi (1993), Suer (1998), Pastor (2002), Berger (1992) e Bukchin (2006)*.

No âmbito deste trabalho apenas será desenvolvido o tema relativo ao balanceamento de linhas de montagem de dois lados.

### 3.5.1.1 Balanceamento de linhas de montagem de dois lados

Como referido na secção 3.4.6 deste trabalho, as linhas de montagem de dois lados caracterizam-se por ser linhas de montagem utilizadas para a fabricação de produtos similares e as quais decompõem-se em dois lados, o lado direito e o lado esquerdo. Em ambos os lados estão alocadas estações de trabalho, fisicamente, estas estações estão dispostas frente a frente. Esta disposição física permite que em cada tempo de ciclo existam pelo menos dois operadores a executarem trabalho na mesma estação. Contudo, torna-se necessário ter em atenção que estes não se encontram no mesmo lado da linha. Uma outra particularidade importante consiste na definição correcta da sequenciação de tarefas. Uma boa sequenciação de tarefas permite não só a minimizar os tempos mortos (definição na secção 3.3.1), assim como, a existência de interferências (definição na secção 3.4.6).

Os factos enumerados anteriormente definem, de uma forma geral, o problema de balanceamento de linhas de montagem de dois lados (2-ALBP).

Segundo Simaria (2006), o primeiro autor a criar um estudo relativo a este tipo de problemas foi o *Barthodi (1993)* no qual este desenvolveu um programa computacional



interactivo que permitia balancear a linha de montagem com base no “princípio do primeiro ajuste”. Mais tarde, *Kim* (2000) apresenta um algoritmo matemático para o balanceamento deste tipo de problemas. *Lee* (2001) propõe um procedimento de alocação das tarefas de trabalho de forma a maximizar o rendimento das estações de trabalho e *Lapierre* e *Ruiz* (2004) propõem uma resolução deste tipo de problema através de uma heurística que permite equilibrar as cargas de trabalho em ambos os lados da linha.

Contudo, todos estes autores desenvolveram e aplicaram os seus estudos a linha de montagem de dois lados onde apenas existia a fabricação de um único produto, por outras palavras, a uma linha de montagem simples que apresenta uma configuração para realizar trabalho em ambos os lados da linha. No entanto, e devido à evolução do mercado, esta configuração de linha de montagem aplica-se à produção de um único modelo o que não vai de encontro às novas expectativas geradas pelo mercado actual, isto é, actualmente, as indústrias viram-se obrigadas a fabricar mais de um modelo em simultâneo de forma a responder aos requisitos do novo cliente.

Assim, recentemente, a autora *Simaria* (2006) apresenta um algoritmo matemático como proposta de resolução para o balanceamento da configuração de linhas de montagem de dois lados aplicado a linhas de montagem mix-modelos. Esta proposta sugere uma divisão para as diferentes fases, sendo elas:

- **1ª Fase:** Determinação dos dados iniciais;
- **2ª Fase:** Identificação das variáveis de decisão;
- **3ª Fase:** Identificação da função objectivo;
- **4ª Fase:** Identificação das restrições.

#### **1ª Fase: Determinação dos dados iniciais:**

A primeira etapa de todas decompõe-se na determinação de elementos base para a resolução dos problemas, sendo estes, o tempo de ciclo e o número de unidades a produzir em cada *mix*.

Desta forma, o tempo de ciclo é dado pela equação 3.1 na qual o  $P$  representa o horizonte de planeamento,  $D_m$  a procura para cada modelo e  $m = 1, \dots, M$  o número de modelos fabricados (*Simaria*, 2006).

$$C = \frac{P}{\sum_{m=1}^M D_m} \quad [3.1]$$

O número de modelos a fabricar para cada modelo determina-se através da seguinte equação (Simaria, 2006):

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{p=1}^M D_p} \quad (m = 1, \dots, M) \quad [3.2]$$

### **2ª Fase: Identificação das variáveis de decisão:**

Esta fase caracteriza-se pela observação do diagrama de precedências já elaborado (definição na secção 3.2). O diagrama de precedências identifica o número de tarefas  $N$ , numeradas de  $i = 1, \dots, N$  e o tempo de processamento da tarefa  $i$  no modelo  $m$ ,  $t_{im}$ . O diagrama permite, também, identificar os seguintes aspectos:

- i.* Tarefas que podem ser executas em ambos os lados da linha,  $S_E$ ;
- ii.* Tarefas que devem ser executadas num lado específico da linha: lado direito  $S_R$  e lado esquerdo  $S_L$ ;
- iii.* Tarefas que devem ser executas em simultâneo em ambos os lados da linha, isto é, os operadores trabalham em sincronismo  $S_C$ .

Em 2-ALBP existem estações de trabalho em ambos os lados da linha, então, torna-se essencial identificar qual o lado específico da estação que deve executar as tarefas. Assim, as variáveis de decisão definem-se como (Simaria, 2006):

$$x_{ikb} = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } i \text{ está alocada à estação } K \text{ no lado } b \\ & b = L(\text{esquerda}), R(\text{direita}) \\ 0, & \text{se não } (i = 1, \dots, N; K = 1, \dots, LL) \end{cases} \quad [3.3]$$

É de notar que  $LL$  significa que existe operadores a trabalhar em simultâneo, um em cada lado da linha, na posição  $k$ .

### **3ª Fase: Identificação da função objectivo:**

A função objectivo subdivide-se em quatro partes, sendo elas:

- i.* Minimização dos tempos mortos na linha:

O tempo morto ponderado na linha de montagem de dois lados é dado pela equação seguinte (Simaria, 2006):

$$\text{Mínimo } WIT^{2s} = \sum_{m=1}^M q_m \sum_{k=1}^{LL} \sum_{b=L}^R (C - \sum_{i=1}^N t_{im} x_{ikb}) \quad [3.4]$$

**ii. Maximização da eficiência da linha:**

A eficiência ponderada da linha determina-se através da equação 3.5 apresentada abaixo (Simaria, 2006). O valor obtido está compreendido no intervalo [0; 1].

$$\text{Máximo } WE^{2s} = \sum_{m=1}^M q_m \left( \frac{\sum_{i=1}^N t_{im}}{SC} \right) \quad [3.5]$$

O  $S$  representa o número total de estações de trabalho.

**iii. Balanceamento do workload entre as estações de trabalho:**

Esta terceira parte da função objectivo pretende uniformizar o valor dos tempos mortos nas estações de trabalho de forma a que o balanceamento seja mais homogéneo. Para tal utiliza-se a equação abaixo indicada (Simaria, 2006):

$$\text{Mínimo } B_b^{2s} = \frac{S}{S-1} \sum_{k=1}^{LL} \sum_{b=L}^R \left( \frac{S_{kb}}{WIT^{2s}} - \frac{1}{S} \right)^2 \quad [3.6]$$

O  $S_{kb}$  representa a média do tempo morto na estação  $k$  no lado  $b$  da linha e é dado pela seguinte expressão (Simaria, 2006):

$$S_{kb} = \sum_{m=1}^M q_m S_{kbm} \quad [3.7]$$

O valor da função  $B_b^{2s}$  varia atingindo o máximo de 1. Quando a média do tempo morto da linha é igual ao tempo morto de uma estação, o valor do  $WIT^2$  é igualmente distribuído por todas as estações de trabalho.

**iv. Balanceamento do workload nas estações de trabalho:**

De forma a assegurar que todos os operadores prestam o mesmo tempo de trabalho adiciona-se à função objectivo a seguinte expressão (Simaria, 2006):

$$\text{Mínimo } B_w^{2s} = \frac{M^2}{S(M^2-1)} \sum_{k=1}^{LL} \sum_{b=L}^R \sum_{m=1}^M \left( \frac{q_m S_{kbm}}{S_{kb}} - \frac{1}{M^2} \right)^2 \quad [3.8]$$

O valor da função  $B_b^{2s}$  varia atingindo o máximo de 1. Quando o tempo morto de cada estação obtém-se unicamente a partir de um modelo, este distribui-se igualmente por todas as estações de trabalho e por todos os modelos.

#### **4ª Fase: Identificação das restrições:**

Associado a este tipo de problemas existe uma diversidade de restrições (Simaria, 2006):

**i. Cada tarefa apenas pode ser executada numa estação de trabalho:**

$$\sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} x_{ikb} = 1 \quad (i = 1, \dots, N) \quad [3.9]$$

**ii. Alocação de tarefas a um lado específico na linha:**

Para tarefas alocadas ao lado esquerdo da linha utiliza-se a primeira equação (3.10) enquanto que para as tarefas alocadas para o lado direito da linha utiliza-se a segunda equação (3.11).

$$\sum_{K=1}^{LL} x_{ikL} = 1 \quad (i \in S_L) \quad [3.10]$$

$$\sum_{K=1}^{LL} x_{ikR} = 1 \quad (i \in S_R) \quad [3.11]$$

**iii. Verificação das precedências dentro das estações de trabalho:**

Para garantir a minimização ou até mesmo a inexistência de interferências entre os operadores torna-se necessário verificar as precedências dentro da própria estação de trabalho.

Assim, a tarefa a ser executada inicia-se ao instante  $i$  e a sua duração está compreendida no intervalo  $0 \leq T_i < C$ .  $T_i$  representa a variável de decisão do modelo. É de salientar que também se deve ter atenção as precedências relativas à alocação das tarefas nas estações.

As tarefas só podem ser executadas após a realização de todas as tarefas precedentes. A tarefa  $i$  é precedente da tarefa  $j$ . Para que a precedência se verifique, a tarefa  $j$  não deve começar antes da tarefa  $i$  ter terminado. A equação 3.12 determina esta restrição:

$$\sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} kx_{ikb} T_i + \max\{t_{im}\} - \sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} kx_{jkb} T_j \leq 0 \quad (i = 1, \dots, N; j \in Suc_i) \quad [3.12]$$

$\max\{t_{im}\}$  representa o tempo máximo de processamento da tarefa  $i$  considerando todos os modelos.

**iv. Sincronismo de tarefas:**

As tarefas executadas em simultâneo pelos operadores designam-se como tarefas em sincronismo. Neste tipo de tarefas, o tempo de início da execução da tarefa é igual para ambos os operadores. É de notar que estes não se encontram no mesmo lado da linha.

A equação 3.13 resume esta restrição:

$$\sum_{K=1}^{LL} kx_{ikL}T_i - \sum_{K=1}^{LL} kx_{ikR}T_j = 0 \quad ((i,j) \in S_C) \quad [3.13]$$

**v. Definição da ordem de execução das tarefas:**

Quando não existe nenhuma indicação relativa a uma tarefa, isto é, quando não se menciona que a tarefa tem uma relação de precedência ou quando esta não se executa em sincronismo com nenhuma outra, continua a ser necessário definir a sua ordem de execução na estação.

Quando aqui se refere que a tarefa não tem precedência está-se a referir que existe mais do que uma tarefa alocada à mesma estação e as suas precedências são iguais. Isto significa, que a ordem de execução é indiferente. Contudo, torna-se necessário defini-la.

Assim, se a tarefa  $i$  executa-se antes da  $j$  utiliza-se a equação 3.14, caso a tarefa  $i$  seja executada depois da tarefa  $j$  utiliza-se a equação 3.15.

$$\sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} kx_{ikb}T_i + \max\{t_{im}\} - \sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} kx_{jkb}T_j \leq 0 \quad (i = 1, \dots, N; j \notin Suc_i) \quad [3.14]$$

$$\sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} kx_{jkb}T_j + \max\{t_{jm}\} - \sum_{b=L}^R \sum_{K=1}^{LL} kx_{ikb}T_i \leq 0 \quad (i = 1, \dots, N; j \notin Suc_i) \quad [3.15]$$

No modelo de programação matemática, estas duas equações são equações disjuntivas o que significa que apenas se verifica uma equação de cada vez.

**vi. Tempo de ciclo não pode ser excedido:**

A equação abaixo apresentada permite determinar o *idle time* na estação de trabalho  $k$  no lado  $b$  da linha quando se trabalha no modelo  $m$ :

$$s_{kbm} = C - \sum_{i=1}^N x_{ikb}t_{im} \quad (k = 1, \dots, LL; b = L, R; m = 1, \dots, M) \quad [3.16]$$

Contudo, esta equação verifica-se insuficiente para garantir que o tempo de ciclo não seja excedido uma vez que dentro de uma mesma estação de trabalho pode ocorrer *idle time* em mais do que uma tarefa. Assim, e para garantir que o tempo de ciclo não seja excedido, adiciona-se a equação 3.17 ao modelo matemático.

$$x_{ikb}(T_i + \max\{t_{im}\}) \leq C \quad (i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, LL; b = L, R) \quad [3.17]$$

**vii. Restrições positivas e restrições negativas:**

A equação 3.18 garante que se está numa zona positiva enquanto que a equação 3.19 utiliza-se para zonas negativas.

$$\sum_{K=1}^{LL} kx_{ikb} - \sum_{K=1}^{LL} kx_{jkb} = 0 \quad ((i, j) \in ZP; b = L, R) \quad [3.18]$$

$$\sum_{K=1}^{LL} kx_{ikb} - \sum_{K=1}^{LL} kx_{jkb} \neq 0 \quad ((i, j) \in ZN; b = L, R) \quad [3.19]$$

O modelo matemático completo para a programação de linhas 2-ALBP apresenta-se na figura 3.25. Este modelo contempla as seguintes restrições (Simaria, 2006):

- i.* Cada tarefa apenas pode ser executada numa estação de trabalho;
- ii.* Alocação de tarefas a um lado específico na linha;
- iii.* Verificação das precedências dentro das estações de trabalho;
- iv.* Sincronismo de tarefas;
- v.* Definição da ordem de execução das tarefas;
- vi.* Tempo de ciclo não pode ser excedido;
- vii.* Restrições positivas e restrições negativas;
- viii.* Restrição do número total de operadores na linha  $S^1$ ;
- ix.* Definição do domínio das variáveis de decisão.

É de salientar que devido à complexidade do modelo matemático apresentado torna-se impossível resolver este problema de forma a determinar a solução óptima. Contudo, a autora do algoritmo apresenta na sua obra uma forma de contornar esse problema recorrendo a um processo iterativo (Simaria, 2006).

---

<sup>1</sup> Para esta restrição considera-se a variáveis binária  $y_{kb}$ . Se a estação de trabalho  $k^{th}$  do lado  $b$  da linha utiliza-se para montagens enquanto que o outro lado não tem qualquer tarefa associado torna-se necessário utilizar um integral positivo  $M$ .

**Variáveis de Decisão:**

$$x_{ikb} = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } i \text{ está alocada à estação } K \text{ no lado } b \\ & b = L(\text{esquerda}), R(\text{direita}) \\ 0, & \text{se não } (i = 1, \dots, N; K = 1, \dots, LL) \end{cases}$$

**Função Objectivo:**

$$\text{Maximização } \lambda WE^{2s} - B_b^{2s} - B_w^{2s}$$

**Sujeito às Restrições:**

$$\begin{aligned} \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K x_{ikb} &= 1 & (i = 1, \dots, N) \\ \sum_{k=1}^K x_{ikL} &= 1 & (i \in S_L) \\ \sum_{k=1}^K x_{ikR} &= 1 & (i \in S_R) \\ \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K kx_{ikb}T_i + \max\{t_{im}\} - \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K kx_{jkb}T_j &\leq 0 & (i = 1, \dots, N; j \in \text{Suc}_i) \\ \sum_{k=1}^K x_{ikL}T_i - \sum_{k=1}^K x_{ikR}T_i &= 0 & ((i, j) \in S_C) \\ \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K kx_{ikb}T_i - \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K kx_{jkb}T_j &\leq M\mu_i & (i = 1, \dots, N; j \notin \text{Suc}_i) \\ \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K kx_{jkb}T_j - \sum_{b=L}^R \sum_{k=1}^K kx_{ikb}T_i &\leq M(1 - \mu_i) & (i = 1, \dots, N; j \notin \text{Suc}_i) \\ \sum_{i=1}^N t_{im}x_{ikb} + s_{kbm} &= C & (k = 1, \dots, K; b = L, R; m = 1, \dots, M) \\ x_{ikb}(T_i + \max\{t_{im}\}) &\leq C & (i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K; b = L, R) \\ \sum_{k=1}^K kx_{ikb} - \sum_{k=1}^K kx_{ikb} &= 0 & ((i, j) \in ZP; b = L, R) \\ \sum_{k=1}^K kx_{ikb} - \sum_{k=1}^K kx_{ikb} &\neq 0 & ((i, j) \in ZN; b = L, R) \\ \sum_{i=1}^N x_{ikb} &\leq My_{kb} & (k = 1, \dots, K; b = L, R) \\ \sum_{i=1}^N x_{ikb} &\leq y_{kb} & (k = 1, \dots, K; b = L, R) \\ S &= \sum_{k=1}^K \sum_{b=L}^R y_{kb} \\ s_{kbm} &\geq 0 & (k = 1, \dots, K; b = L, R; m = 1, \dots, M) \\ x_{ikb} &\in \{0, 1\} & (i = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K; b = L, R) \\ \mu_i &\in \{0, 1\} & (i = 1, \dots, N) \\ y_{kb} &\in \{0, 1\} & (k = 1, \dots, K; b = L, R) \\ S &> 0 & S \text{ é integral} \end{aligned}$$

Figura 3.25 Modelo matemático para a programação de linhas 2-ALBP  
(Fonte: Simaria, 2006 )

A aplicação de linhas de montagem mix-modelos a situações reais torna o problema de balanceamento de linhas muito mais complexo uma vez que muitas das aplicações destas linhas realizam-se em indústrias que não têm dezenas de estações de trabalho, mas sim, algumas centenas (Falkenauer, 2005). Um caso exemplificativo desta situação visualiza-se na indústria automóvel.

Neste tipo de situações em concreto torna-se impossível realizar o balanceamento das linhas de montagem manualmente. Este facto deve-se não só à quantidade de

estações de trabalho existentes, como também, às restrições que este tipo de situações implica. Um outro problema consiste na quantidade de modelos que um determinado veículo possui. A tabela 3.7 apresenta a relação existente entre o número de opções do veículo e o modelo do veículo. De uma forma geral, o número de modelos cresce exponencialmente com o número de opções (Boysen, Fliendner & Scholl, 2007).

Tabela 3.7 Relação entre o número de opções do veículo e o modelo do veículo  
(Fonte: Adaptado de Boysen, Fliendner, & Scholl, 2007)

Marca do veículo	Combinações pintura/interior	Opções de fabricação	Número de modelos
<b>Renalt Clio</b>	57	9	81588
<b>Ford Fiesta</b>	57	13	1190784
<b>Renault Megane</b>	52	14	3451968
<b>GM Astra</b>	83	14	27088176
<b>GM Corsa</b>	77	17	36690436
<b>Ford Focus</b>	64	19	366901933
<b>VW Golf</b>	221	26	1999813504
<b>Fiat Stilo</b>	93	25	10854698500
<b>VW Polo</b>	195	27	$5.26 \times 10^{10}$
<b>Mini (BMW)</b>	418	44	$5.10 \times 10^{16}$
<b>BMW 3 series</b>	280	45	$6.41 \times 10^{16}$
<b>Mercedes C-Class</b>	312	59	$1.13 \times 10^{21}$
<b>Mercedes E-Class</b>	285	70	$3.35 \times 10^{24}$

### 3.6 Destaques do capítulo

Com referido no início deste capítulo, as linhas de montagem representam uma das melhores formas de produção que as indústrias possuem para conseguirem fabricar um elevado número de produtos sem que para tal tenham de aumentar os seus custos. No entanto, e em consequência da evolução do mercado, também as linhas de montagem se adaptaram às mudanças derivadas deste novo cliente e, actualmente, existe um grande número e variedade destas sendo que cada uma delas possui as suas próprias características.

Desta forma, este capítulo permite descrever as características principais para um bom funcionamento de uma linha de montagem, assim como, também, se refere



sucintamente a diferença entre o conceito de linhas de montagem e linhas de produção.

Neste capítulo foi, também, possível identificar e caracterizar as diversas formas existentes de linhas de montagem de tal como modo que se iniciou por referir a classificação existente para a divisão das linhas de montagem segundo o seu fluxo. Esta classificação divide-se em três categorias distintas sendo as quais visíveis na tabela 3.8. A partir da mesma tabela observa-se, também, que cada uma destas categorias ainda se decompõe em algumas linhas de montagem. Cada uma destas linhas de montagem diferem umas das outras segundo as características já descritas anteriormente neste capítulo, as suas aplicabilidades verificam-se ser bastante grandes sendo, assim, complexo referir em concreto quais as indústrias que as utilizam uma vez que um determinado produto pode numa fábrica ser processado de uma forma e noutra de uma outra forma.

Tabela 3.8 Esquemática da classificação das linhas de montagem segundo o fluxo

Linhas de Montagem	
<b>Classificação segundo o fluxo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Segundo o fluxo de material: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Linha de montagem síncrona;</li> <li>▪ Linha de montagem assíncrona;</li> <li>▪ Linha de pré-montagem.</li> </ul> </li> <li>• Segundo o fluxo do produto: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Linha de montagem simples;</li> <li>▪ Linha de montagem mix-modelos;</li> <li>▪ Linha de montagem multi-modelos.</li> </ul> </li> <li>• Segundo o nível de automação: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Linha de montagem manual;</li> <li>▪ Linha de montagem semi-automática;</li> <li>▪ Linha de montagem automática flexível;</li> <li>▪ Linha de montagem puramente automática.</li> </ul> </li> </ul>

Apesar da existência desta classificação nada impede que as linhas de montagem fruto de cada uma das três vertentes se possam combinar, isto é, uma linha de montagem simples pode, por exemplo, apresentar um nível de montagem única e exclusivamente manual, assim como, pode possuir equipamentos automáticos para a totalidade da sua extensão. Este foi apenas um exemplo, o mesmo pode suceder para as restantes linhas de montagem existindo, assim, um número elevado de combinações possíveis.

As linhas de montagem podem, ainda, serem classificadas segundo a sua configuração de entre as quais se salienta as configurações referidas na tabela 3.9. Cada uma destas configurações de linha de montagem foi caracterizada neste mesmo

capítulo e a aplicabilidade destas mesmas linhas, também, não foi referida pelos motivos já descritos anteriormente. Também, aqui, se verifica o facto descrito anteriormente, isto é, cada uma destas configurações pode combinar com uma qualquer combinação possível anteriormente realizada.

Tabela 3.9 Esquemática das diferentes formas de configuração de linhas

Linhas de Montagem	
<b>Configuração de Linhas de Montagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linha de montagem linear;</li> <li>• Linha de montagem em U;</li> <li>• Linha de montagem em C;</li> <li>• Linha de montagem circular;</li> <li>• Linha de montagem paralela;</li> <li>• Linha de montagem de 2 lados.</li> </ul>

Desta forma, observa-se que o número de linhas de montagem existentes verifica-se ser bastante elevado. Contudo, a linha de montagem mix-modelos continua a ser aquela linha de montagem que em combinação com qualquer outro tipo apresenta uma maior flexibilidade em especial com a linha de dois lados.

Ainda, neste mesmo capítulo, apresenta-se a classificação para os diferentes problemas de balanceamento. A tabela 3.10 resume os diferentes problemas de balanceamento detectados. Na caracterização de cada um deles identificou-se os principais autores que realizaram estudos a seu respeito.

De todos os problemas de balanceamento detectados aquele que tem origem no tipo de linha de montagem que garante níveis de flexibilidade maiores denomina-se como MALBP.

Tabela 3.10 Esquemática da classificação dos problemas de balanceamento

Linhas de Montagem	
<b>Problemas de Balanceamento de Linhas de Montagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SALBP: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SALBP-1;</li> <li>▪ SALBP-2;</li> <li>▪ SALBP-E;</li> <li>▪ SALBP-F.</li> </ul> </li> <li>• UALBP;</li> <li>• MALBP: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MALBP-1;</li> <li>▪ MALBP-2;</li> <li>▪ MALBP-E</li> </ul> </li> <li>• RALBP;</li> <li>• MOALBP;</li> <li>• Segundo <i>layout</i> e características da linha.</li> </ul>

Em seguida identificou-se alguns autores que desenvolveram propostas para a resolução de problemas de balanceamento de linhas de montagem simples aplicados à configuração de linhas de montagem com dois lados. No entanto, a aplicação destes métodos a linhas de montagem simples não permitem a fabricação de mais do que um tipo de produtos e, conseqüentemente, não se consegue aumentar a flexibilidade que as indústrias pretendem. Neste sentido, a autora Ana Sofia Simaria apresenta uma proposta de balanceamento de linhas de montagem mix-modelos com a configuração de linhas de montagem com dois lados. O presente capítulo caracteriza e descreve esta mesma proposta.

Neste sentido, o capítulo seguinte tem o objectivo de continuar e desenvolver o estudo para a aplicação deste tipo de linhas de montagem que apresentem esta configuração. Como tal, seguidamente, enuncia-se os principais obstáculos encontrados na sua implementação e desenvolve-se uma metodologia de trabalho para a configuração e balanceamento destas linhas.

## **Capítulo IV**

Proposta de Procedimento para Concepção de  
Linhas de Montagem Mix-Modelos

## 4.1 Introdução

No capítulo anterior foi possível caracterizar as linhas de montagem existentes e identificar aquela que apresenta níveis de flexibilidade de produto maiores para que as indústrias possam garantir a diversidade de produtos que o cliente actual exige, a linha de montagem mix-modelos. De entre todas as configurações de *layout* que esta linha de montagem pode apresentar, a linha de montagem de dois lados contribui para aumentar os níveis de flexibilidade da mesma.

Assim, o presente capítulo pretende apresentar uma proposta de procedimento para a concepção deste tipo de linhas de montagem. Contudo, antes de iniciar a descrição propriamente dita desta proposta, identifica-se os principais componentes a ter em atenção na instalação de uma linha de montagem. Posteriormente, caracteriza-se as diferentes restrições que podem ser encontradas na instalação desta mesma linha de montagem. As restrições de instalação devem-se, essencialmente, ao facto de as indústrias adaptarem as linhas de montagem já existentes, a linhas de montagem que apresentem níveis de flexibilidade maior para que consigam produzir um maior número de produtos e, assim, satisfazer os requisitos do consumidor actual.

De seguida apresenta-se a proposta de procedimento para a concepção de linhas de montagem mix-modelos. Esta proposta divide-se em três etapas principais, sendo elas: a elaboração do balanceamento e configuração teórica da linha de montagem, elaboração do balanceamento e configuração final da linha de montagem e, por último, alterações ao balanceamento e configuração da linha de montagem. Para a descrição de cada uma destas etapas utilizam-se os métodos IDEF0 e IDEF3 para auxiliar o visionamento dos diferentes padrões de fluxo entre as várias actividades representadas. Estes métodos permitem, ainda, a representação de fluxogramas com diferentes níveis de detalhe. No interior deste capítulo, também, se explica o procedimento base deste método.

## 4.2 Componentes de instalação de uma linha de montagem

Todo o trabalho subjacente à instalação de uma linha de montagem apresenta um grau de complexidade bastante elevado na medida em que necessita-se de planear todo um trabalho fruto de várias áreas distintas. Segundo Cabeças (2005), este trabalho subjacente pode ser classificado como componentes de instalação e os quais

podem ser, ainda, divididos em componentes físicos e componentes lógicos. A divisão dos componentes nestas duas áreas depende da aplicação prática efectuada.

No entanto, para aplicação prática de uma linha de montagem mix-modelos com uma configuração de dois lados, pode-se dividir os diferentes componentes nas duas áreas da forma como se apresenta na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Classificação dos componentes de uma linha de montagem  
(Fonte: Adaptado de Cabeças, 2005)

Componentes de uma Linha de Montagem	
Componentes Físicos	Componentes Lógicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimentos de inspecção e qualidade dos produtos</li> <li>• Movimentação de produtos</li> <li>• Abastecimento de componentes à linha de montagem</li> <li>• Capacidade da linha de montagem</li> <li>• <i>Layout</i> da linha de montagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepção do processo de montagem</li> <li>• Balanceamento da Linha de Montagem</li> <li>• Gestão da fiabilidade dos produtos</li> <li>• Procedimentos de manutenção</li> <li>• Interface com os fornecedores</li> <li>• Recursos Humanos</li> <li>• Sistemas de Informação</li> <li>• Gestão dos produtos em curso de fabricação</li> </ul>

Para uma melhor compreensão de cada um destes componentes seguidamente caracteriza-se de uma forma sucinta cada um deles (Cabeças, 2005):

- Componentes Físicos:
  - **Procedimentos de Inspeção e qualidade:** Detecção e análise de problemas de montagem através do controlo de qualidade aos produtos. Redução no número de unidades rejeitadas;
  - **Movimentação de produtos:** Deslocamento do produto na linha, movimentações dos materiais no armazém e abastecimento da linha;
  - **Abastecimento de componentes à linha de montagem:** Optimização da velocidade de abastecimento de componentes à linha;

- **Capacidade da linha de montagem:** Garantia da capacidade da linha adequada às necessidades de mercado. Evitar sobre investimento ou capacidade insuficiente;
- **Layout da linha de montagem:** *Layout* flexível ou rígido.
- Componentes Lógicos:
  - **Concepção do processo de montagem:** Identificação do processo de montagem do produto, caracterização das tarefas e sequenciação da montagem;
  - **Balanceamento da Linha de Montagem:** Definição do conteúdo de trabalho de cada estação de trabalho;
  - **Gestão da fiabilidade dos produtos:** Avaliação dos produtos de acordo com as especificações técnicas;
  - **Procedimentos de manutenção:** Redução dos tempos de inactividade da linha;
  - **Gestão dos produtos em curso de fabricação:** Optimização dos produtos em curso de fabricação, desde a área de armazenamento e expedição para o cliente;
  - **Interface com os fornecedores:** Garantia do melhor abastecimento de componentes à empresa;
  - **Recursos Humanos:** Processo de aprendizagem, treino, considerações ergonómicas, variabilidade humana, atribuição de postos de trabalho;
  - **Sistemas de Informação:** Controlo de processo, análise de falhas, controle da produção.

### 4.3 Restrições na instalação de uma linha de montagem

Na aplicação de uma linha de montagem a uma situação real muitas das vezes encontram-se diversos obstáculos. Estes obstáculos devem-se em grande parte à situação actual encontrada na indústria na qual se pretende fazer a instalação e, também, ao tipo de produto a fabricar, sendo os mais usais descritos seguidamente:

- Rebalanceamento da linha de montagem:

Um dos obstáculos mais frequentes consiste no rebalanceamento da linha de montagem e não o balanceamento da mesma. Na maioria dos casos, as indústrias já

têm instalado uma linha de montagem. No entanto, a linha de montagem instalada não satisfaz os novos objectivos propostos. Assim, sendo, torna-se necessário implementar determinadas alterações que visam a concretização dos novos objectivos (Falkenauer, 2005). As situações mais frequentes que originam o rebalanceamento da linha são a inserção de novos produtos e as alterações no volume de produção.

- Identidade das estações de trabalho:

Esta restrição sucede da restrição anterior na medida em que quando se rebalanceia linhas de montagem já existentes torna-se necessário ter em consideração que algumas das estações de trabalho possuem as suas próprias características, isto é, estas têm implementadas uma série de equipamentos que confere à estação uma certa identidade (Falkenauer, 2005). Por outras palavras, a estação está configurada para a realização de um processo específico sendo difícil o envio ou o reenvio de outros processos para esta estação. Alterações físicas a estas estações implicam um investimento por parte da empresa.

Um exemplo prático de uma estação com identidade apresenta-se na figura 4.1. Observando a imagem existente nesta figura sabe-se que a estação de trabalho apresentada corresponde à junção da parte mecânica do veículo com a sua carroçaria, pelo mecanismo da base de suporte da parte mecânica do veículo percebe-se que os equipamentos existentes nesta estação de trabalho estão adequados às características de montagem sendo difícil receber ou enviar processos para esta estação. Uma mudança de local desta estação implica investimentos algo elevados.



Figura 4.1 Exemplo prático de uma estação com identidade

(Fonte: [www.atarde.com.br/fotos/index.jsf%3Bjsessionid=98BDBE0354403743A62D6840B5FC905C.jbossdube1?id=800790#9](http://www.atarde.com.br/fotos/index.jsf%3Bjsessionid=98BDBE0354403743A62D6840B5FC905C.jbossdube1?id=800790#9))



- Nível da zona de trabalho:

Esta restrição refere-se ao nível da zona de trabalho em que um operador trabalha, isto é, quando um operador executa o seu trabalho num produto este mantém em grande parte das vezes a posição vertical. Para que tal facto aconteça, o produto a montar deve variar a sua altura de forma a que o operador possa manter a sua postura. Desta forma, verifica-se a criação de diferentes níveis de zona de trabalho em que cada um apresenta uma altura diferente para o produto a montar.

Um exemplo notório desta restrição encontra-se na indústria automóvel na qual a montagem de um veículo divide-se em três grandes níveis:

- Uma zona de baixo nível na qual o operador está acima da altura do veículo.
- Uma zona elevada na qual o operador executa as suas tarefas na parte inferior do veículo;
- Uma zona intermédia na qual a altura do veículo coincide com a altura do operador;

Desta forma seguidamente apresenta-se uma esquemática para cada um dos níveis e um exemplo prático que fundamenta a sua utilização. Assim, a figura 4.2 representa a esquemática da zona de baixo nível onde se observa que o operador está ao nível do veículo. A figura 4.3 apoia a esquemática dando um exemplo real do tipo de operações que podem envolver este nível, no caso em concreto, a verificação de uma montagem.

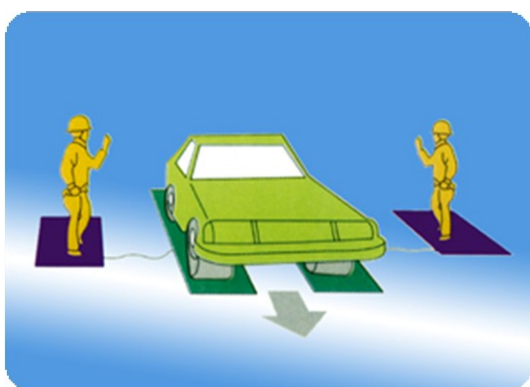


Figura 4.2 Esquemática da zona de baixo nível  
(Fonte: [www.anhyup.co.kr/newsiteeng/safetymatswitcheng.html](http://www.anhyup.co.kr/newsiteeng/safetymatswitcheng.html))



Figura 4.3 Caso real da zona de baixo nível  
(Fonte: [http://ec.europa.eu/enlargement/archives/enlargement\\_process/past\\_enlargements/eu10/pictures/czech\\_republic\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enlargement/archives/enlargement_process/past_enlargements/eu10/pictures/czech_republic_en.htm))

A figura 4.4 contém a esquemática da zona elevada e a partir desta pode-se verificar que este nível de trabalho utiliza-se para montagens na parte inferior do veículo. A figura 4.5 representa um exemplo real de uma montagem efectuada neste tipo de zona, montagens nas cavas das rodas.

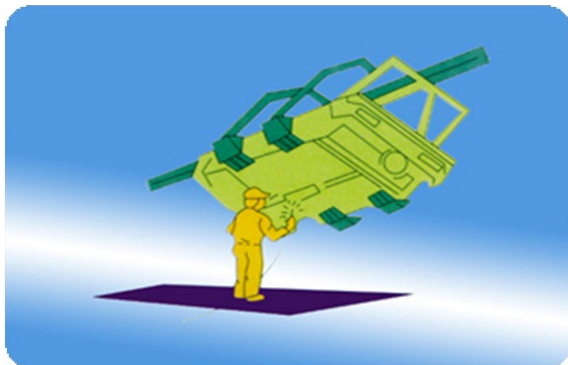


Figura 4.4 Esquemática da zona elevada  
(Fonte: [www.anhyup.co.kr/newsiteeng/safetymatswitcheng.html](http://www.anhyup.co.kr/newsiteeng/safetymatswitcheng.html))

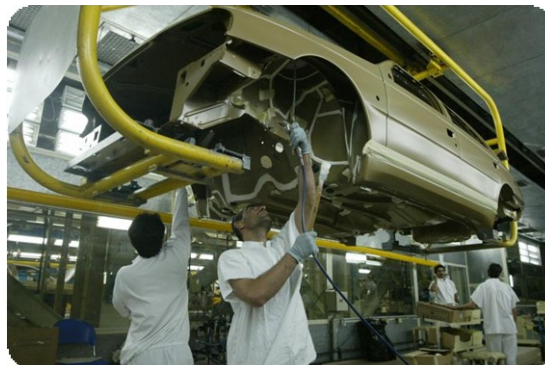


Figura 4.5 Caso real da zona elevada  
(Fonte: [www.upi.com/enl-win/cb229e32054120886e8c045fbfed3da7/](http://www.upi.com/enl-win/cb229e32054120886e8c045fbfed3da7/))

A zona de trabalho intermédia está representada na figura 4.6 uma vez que o operador está ao nível do veículo. A figura 4.7 exemplifica uma das operações efectuadas neste nível, a montagem de insonorizantes.



Figura 4.6 Esquemática da execução de tarefas acima do nível do veículo  
(Fonte: [www.anhyup.co.kr/newsiteeng/safetymatswitcheng.html](http://www.anhyup.co.kr/newsiteeng/safetymatswitcheng.html))



Figura 4.7 Operador executa tarefas acima do nível do veículo  
(Fonte: [www.atarde.com.br/fotos/index.jsf%3Bjsessionid=98BDBE0354403743A62D6840B5FC905C.jb0ssdube1?id=800790#6](http://www.atarde.com.br/fotos/index.jsf%3Bjsessionid=98BDBE0354403743A62D6840B5FC905C.jb0ssdube1?id=800790#6))

É de salientar que no balanceamento ou o rebalanceamento da uma linha de montagem esta restrição deve ser considerada para que não aconteça casos em que as tarefas a efectuar não possam ser executadas na estação de trabalho alocadas devido ao facto do nível da zona de trabalho não coincidir. No entanto, o cumprimento desta restrição resume-se à experiência do engenheiro industrial responsável uma vez

que não existe nenhum tipo de algoritmo que suporta esta restrição (Falkenauer, 2005).

- Equilíbrio das cargas na estação de trabalho:

O equilíbrio das cargas nas estações de trabalho aplica-se, essencialmente, às linhas de montagem mix-modelos na medida em que estas linhas permitem a produção de mais do que um modelo de produto e de uma forma contínua. Desta forma, as estações de trabalho existentes nestas linhas de montagem contêm tarefas de mais do que um tipo de modelo tornando-se, assim, necessário equilibrar as cargas para os diferentes modelos de produto. Este facto representa mais um dos objectivos que devem ser cumprido aquando do balanceamento e rebalanceamento de uma linha de montagem mix-modelos.

A figura abaixo apresentada ilustra uma situação inicial na qual as cargas dos diferentes modelos para uma mesma estação de trabalho não estão equilibradas e uma situação posterior na qual houve uma especial atenção para equilibra-los.

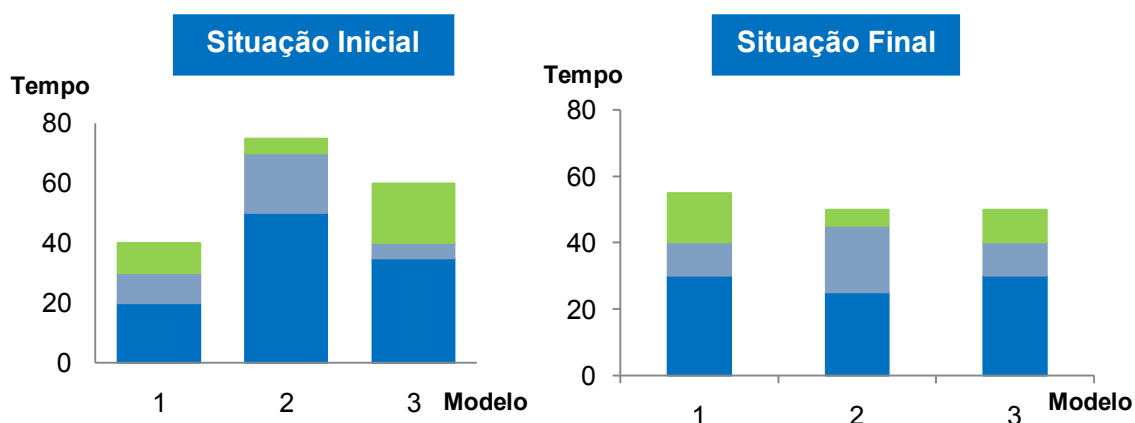


Figura 4.8 Equilíbrio do *workload* da estação de trabalho

- Múltiplos operadores:

Em muitas indústrias, em particular na indústria produtora de veículos motorizados, o produto fabricado apresenta um volume acentuado o que levou à criação de estações de trabalho com mais do que um operador (Roy & Allchurch, 1996). Esta situação embora traga a vantagem de num curto espaço físico seja possível a montagem de um maior número de tarefas, a existência de mais do que um operador pode levar à existência de interferências, já referidas anteriormente na secção 3.4.6.

Esta restrição pode ocasionar, também, o aparecimento de mais um facto relevante. Quando numa estação de trabalho existe mais do que um operador, e é claro que estamos a falar de aplicações a casos reais, deve-se ter em conta o caso de aparecer algum constrangimento durante a execução de uma tarefa, como, por exemplo, o caso de um parafuso encravar ou um equipamento bloquear. Este tipo de constrangimentos podem ser resolvidos sem a necessidade de ocorrer paragem de linha. No entanto, o operador que se deparou com estas situações fica em atraso em relação aos seus companheiros. Deste modo, o balanceamento deve ter em conta este tipo de precauções de forma a que depois destas situações ocorrerem o operador possa recuperar o atraso. Para que o operador recupere o atraso sem criar mais interferências com os seus companheiros, o balanceamento impõe restrições de posição. As diversas posições de montagem neste tipo de produtos classificam-se como (Rekiek, Lit & Dechambre, 2000):

- Operações no interior do produto;
- Operações no lado direito do produto;
- Operações no lado esquerdo do produto;
- Operações na traseira do produto;
- Operações na frente do produto.

A distribuição de todas as tarefas a realizar por estas posições torna-se essencial uma vez que ao agregar estas tarefas por posições facilita a alocação das mesmas por estações e, ainda, permite minimizar a situação de interferência descrita anteriormente. Deste modo, as posições podem ser dispostas na linha como se apresenta na figura 4.9. É de notar que em diversas aplicações práticas este tipo de disposição torna-se difícil de implementar devido ao número elevado de operações.

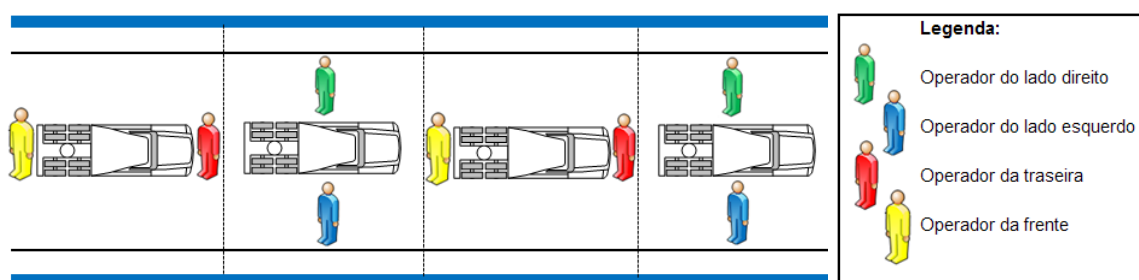


Figura 4.9 Distribuição das posições numa linha de montagem

Observando a figura anterior nota-se que, por exemplo, a posição dos operadores do lado esquerdo do produto e do lado direito do produto aparecem com um desfaseamento de uma estação de trabalho, o mesmo acontece com as outras posições. Este desfaseamento permite que no caso de se verificar algum atraso por

parte do operador este pode entrar na estação de trabalho seguinte sem interferir na zona de trabalho do próximo colega. O esquema apresentado representa, apenas, um exemplo, existem muitas outras combinações possíveis.

- Operações Multi-operadores:

Esta restrição aplica-se a produtos que apresentem grandes dimensões, isto porque, peças volumosas e peças pesadas requerem mais do que um operador para efectuar a montagem (Falkenauer, 2005). Um exemplo apresenta-se na figura 4.10. A montagem do pára-choques da frente de um camião possui uma grelha frontal que necessita de dois operadores para efectuar a sua montagem uma vez que esta peça apresenta dimensões significativas. Este facto obriga ao sincronismo entre os dois operadores como forma de reduzir as interferências que poderão ser originadas.



Figura 4.10 Montagem do pára-choques frontal de um camião  
(Fonte: [http://blog.mlive.com/genesee-general-motors/2009/07/dumping\\_flintmade\\_general\\_moto.html](http://blog.mlive.com/genesee-general-motors/2009/07/dumping_flintmade_general_moto.html))

- Restrições ergonómicas:

A ergonomia de uma estação de trabalho representa um aspecto bastante importante não só para a saúde do operador, assim como, para a medida do desempenho da produtividade da linha (Falkenauer, 2005). Isto é, uma estação de trabalho com um nível ergonómico péssimo origina cansaço nos operadores não lhes permitindo executar as tarefas eficientemente. Em casos mais graves pode originar lesões.

As restrições ergonómicas relevam-se importantes para todas as linhas de montagem em especial para aquelas cujo o produto a fabricar apresente grandes dimensões e o peso de alguns dos componentes significativo.

Tal como nos casos anteriores, a indústria automóvel evidencia este tipo de restrição. Neste tipo de indústria, a ergonomia das estações foca-se em determinados



aspectos sendo os mais importantes descritos seguidamente. É de notar que as restrições ergonómicas são um outro factor que dificulta o balanceamento/implementação de uma linha de montagem.

As tarefas de montagem distribuem-se, também, tendo em conta a postura ergonómica dos operadores, nomeadamente, em locais aos quais existe acesso restrito devido à falta de espaço. Um exemplo concreto consiste no facto de o operador efectuar uma montagem pela parte lateral do veículo quando a montagem deveria ser realizada pela frente.

As restrições ergonómicas influenciam uma outra restrição, também, já abordado nesta secção, a restrição relativa ao nível de trabalho ao qual o operador trabalha. A definição deste nível torna-se essencial para que o operador não faça posturas desadequadas, o não cumprimento destas restrições pode levar ao aparecimento de graves lesões.

Segundo a empresa *WorkSafe Victoria* (Automotive Industry, 2008) a lesão que ocorre com mais frequência situa-se na região lombar, com uma percentagem de 22%, devido ao manuseamento de material pesado. Uma das soluções mais usuais para este tipo de casos resume-se à utilização de manipuladores. Na figura 4.11 apresenta-se um exemplo, a montagem da porta de um veículo caracteriza-se por ser uma operação complicada uma vez que implica algum esforço por parte do operador; com a utilização de um manipulador o operador reduz substancialmente o esforço realizado. Um outro exemplo encontra-se na figura 4.12 na qual o operador não executa tarefas com pesos, mas sim, tarefas na qual a postura ergonómica pode ser desadequada uma vez que são tarefas efectuadas na parte interior do veículo; com a utilização de um equipamento que permite a entrada do operador no veículo sentado as posturas desadequadas são eliminadas.



Figura 4.11 Montagem da porta num automóvel (Fonte: <http://www.egmcartech.com/2009/04/11/last-volvo-s60-rolls-of-the-production-line-new-s60-to-enter-production-in-2010/>)



Figura 4.12 Banco ergonómico em montagens no interior (Fonte: [www.audinationwide.co.uk/news/audi-a3-assembly-line-workflow-and-streamlined-processes/](http://www.audinationwide.co.uk/news/audi-a3-assembly-line-workflow-and-streamlined-processes/))

A utilização deste tipo de equipamentos verifica-se ser bastante útil. Contudo, não só, dificultam o balanceamento da linha, como também, requer a utilização de algum espaço físico da mesma. Estas soluções ergonómicas revelam-se alvo de uma constante evolução. A marca japonesa Honda representa um exemplo dessa constante evolução uma vez que recentemente desenvolveu um dispositivo que auxilia a locomoção e a manutenção da postura dos operadores. Este dispositivo assemelha-se a uma perna mecânica com um assento similar ao de uma bicicleta e uma base ao de um sapato, como se pode observar no Anexo A: Ergonomia na Indústria Automóvel. O dispositivo designa-se como *Walking Assist Device* e foi instalados nas linhas de montagem automóveis japonesas para testar as vantagens da sua utilização (Honda Unveils Experimental Walking Assist Device With Bodyweight Support System, 2008).

- Limitação do espaço físico:

O espaço físico existente consiste num dos principais componentes que pode condicionar a instalação de uma linha de montagem. Um exemplo claro verifica-se quando uma determinada estação de trabalho tem alocada diversas tarefas, mas devido à dimensão dos componentes a montar torna-se inviável que todas estas tarefas estejam agrupadas. Se tal situação ocorrer, o operador realiza grandes deslocamentos uma vez que o material necessário não se encontra todo numa única estação de trabalho.

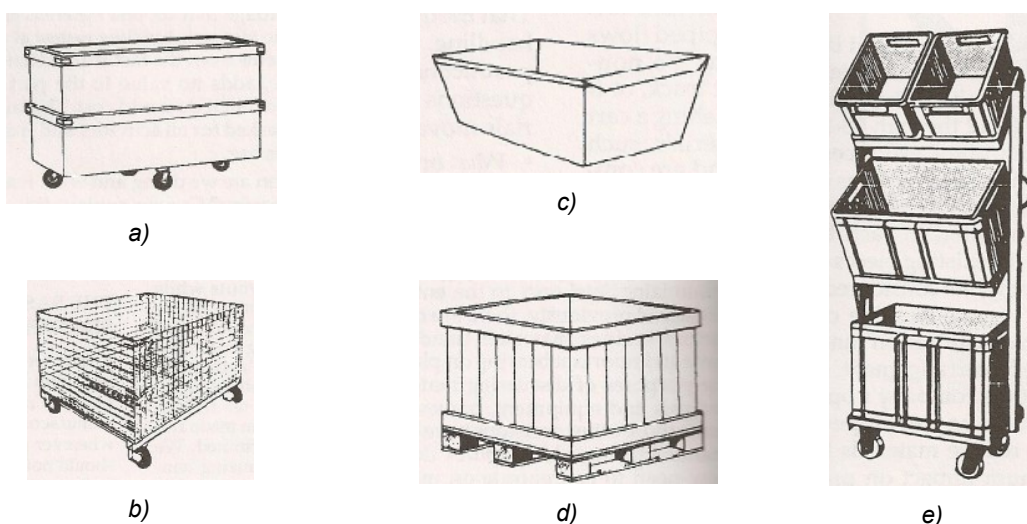


Figura 4.13 Tipos dos recipientes  
(Fonte: Phillips, 1997)

Para ultrapassar este tipo de situações existem diversas formas de abastecer uma linha de montagem desde a variação do recipiente onde se coloca o material até à sequenciação prévia do mesmo. A variação do recipiente permite, ainda, a diminuição do manuseamento do material (Phillips, 1997). Algumas das formas mais comuns dos recipientes encontram-se na figura 4.13. Estes podem apresentar a forma de uma simples caixa (figura 4.13 a) e c)), um contentor (figura 4.13 b) e d)), ou até mesmo, encontrarem-se dispostos numa *rack* (figura 4.13 e)). A *rack* representa uma espécie de uma estante na qual se dispõe as caixas, estes adaptam-se às diferentes caixas a colocar no seu interior.

Uma outra forma de posicionar o material consiste nos chamados carros de apoio, figura 4.14. Os carros de apoio são carros personalizados à estação de trabalho que estão alocados, estes permitem o armazenamento temporário de alguns componentes. Contudo, a utilização de carros de apoio não invalida a utilização de *racks* uma vez que os carros apenas permitem o armazenamento de componentes para um número pequeno de produtos a montar. Apesar deste se não, os carros de apoio possuem uma grande vantagem, permitem reduzir o número de deslocamentos efectuados pelos operadores. Na figura 4.15 observa-se um exemplo prático do posicionamento destes carros de apoio numa linha de montagem, na maioria das vezes estes estão posicionados nas laterais da linha de montagem podendo por vezes serem encontrados nas traseiras e frentes do produto.



Figura 4.14 Exemplo de um carro de apoio  
(Fonte: <http://www.vision-lean.pt/as-principais-aplicacoes-lean/tekn/as-mesas-moveis/>)



Figura 4.15 Exemplo do posicionamento de um carro de apoio na linha de montagem  
(Fonte: [www.canada.com/health/toyota+philosophy+works/2129240/2129243.bin?size=620x400](http://www.canada.com/health/toyota+philosophy+works/2129240/2129243.bin?size=620x400))

A sequenciação do material consiste numa outra tática logística utilizada quando existe diversas opções de um componente a montar num produto. A utilização desta



táctica reduz o espaço logístico na linha uma vez que não se necessita de ter uma caixa de cada um dos componentes a montar, mas sim, uma única caixa. Nesta caixa encontra-se os componentes pela ordem à qual se deve montar. A implementação deste sistema deve-se à filosofia Just-in Time (JIT).

Uma outra forma existente desta filosofia baseia-se na sequenciação não de uma peça, mas sim, de um kit. Nesta forma em particular, os componentes que constituem o kit são preparados no armazém sendo depois transportados para a linha de montagem instantes antes da sua montagem em linha, como se pode observar na figura 4.16.

A utilização do sistema JIT permite a eliminação de stocks junto à linha de montagem, assim como, melhorar a relação custo-benefício. No entanto, o número de abastecimentos à linha aumenta.

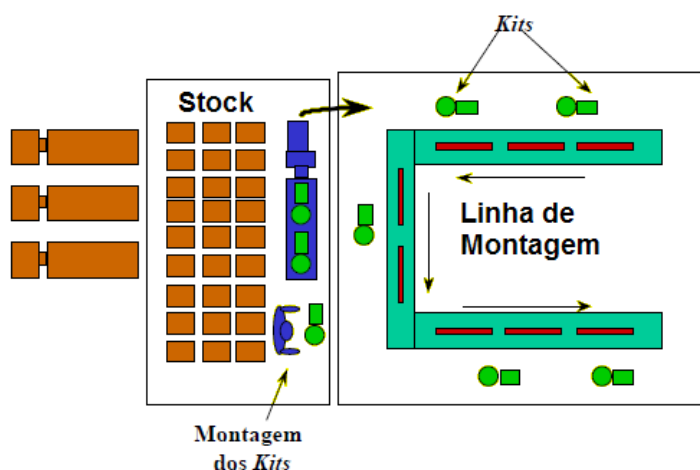


Figura 4.16 JIT por Kits  
(Fonte: <http://www.iautomotivo.com/variacoesjit.PDF>)

#### 4.4 Implementação de uma linha de montagem mix-modelos

Segundo os autores do artigo *Designing mixed-product assembly line* (Rekiek, Lit & Dechambre, 2000), a configuração desta linha de montagem caracteriza-se por três etapas fundamentais, sendo elas: a elaboração do *layout* teórico da linha de montagem; a definição da sequência mais correcta do mix de modelos; e a elaboração do *layout* físico da linha de montagem. Contudo, e adaptando estas etapas à configuração de linhas de montagem flexíveis, isto é, à constante adaptação da linha de montagem existente à integração de novos modelos e à sua constante melhoria; pode-se caracterizar a configuração da linha em três etapas ligeiramente distintas das enumeradas anteriormente:

- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* teórico da linha de montagem;
- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* final da linha de montagem;
- Balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem.

Para a esquematização destas três etapas utilizou-se o método designado como *Integration Definition for Function Modeling* (IDEF). Este método consiste numa família de métodos de modelação de processos sendo nesta dissertação utilizado um misto entre duas destas famílias, o método IDEF0 e o método IDEF3. Apesar de ser utilizado um misto entre os dois métodos, a família destes métodos de modelagem tem como objectivo a descrição, esquematização e análise dos processos de um sistema de forma a clarificar e auxiliar as empresas na compreensão e comunicação dos seus sistemas (Lee, Jeong, Park, & Park, 2003). Estas esquematizações gráficas são constituídas por uma simbologia simplificada nas quais se utilizam caixas para representar as actividades do processo a descrever e setas que indicam o fluxo de material e informação entre as actividades.

O método IDEF0 e o método IDEF3 permitem não só esquematizar de uma forma genérica os processos, mas também, decompor cada um dos processos macro nas suas actividades secundárias. Por outras palavras possibilita a representação hierárquica de um processo através da decomposição das esquematizações gráficas até ao nível que for necessário. Os diagramas de nível inferior são denominados como diagramas filhos (Mykolayczyk & Júnior) (Dorador & Young, 2000).

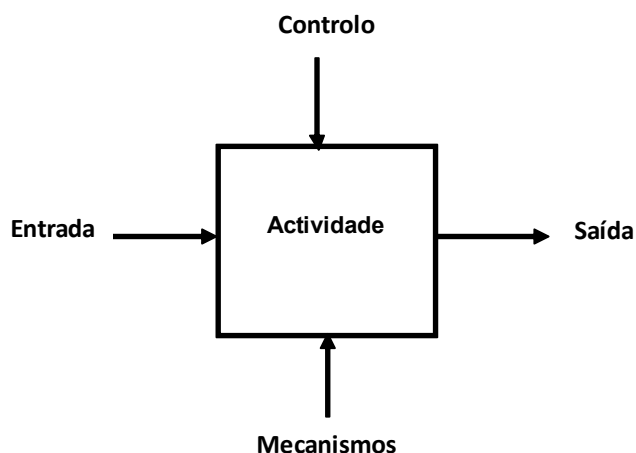
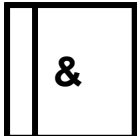
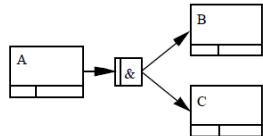
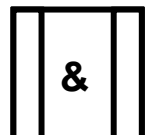

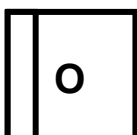
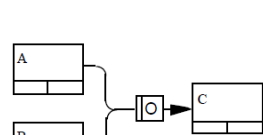
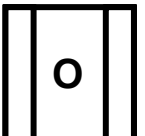
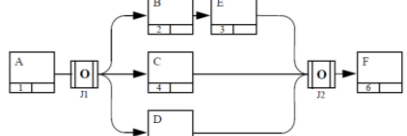


Figura 4.17 Esquematização do diagrama macro  
(Fonte: Adaptado de Dorador & Young, 2000)

O primeiro nível deste método corresponde ao diagrama de processo macro e no qual pode-se identificar um conjunto de informações relevantes para a concretização do processo. Isto é, observando a figura 4.17 sabe-se que o processo macro vai ter uma entrada que corresponde a todos os dados necessários para que depois de transformados pela actividade representada no interior da caixa possa gerar a saída pretendida. Através da análise da mesma figura verifica-se que, também, que existe entradas na parte inferior da função que têm o objectivo de informar quais os mecanismos necessários existir para que seja possível a concretização da actividade. Na parte superior da função há uma outra entrada que se refere aos dados que sejam necessários controlar ao longo de todo o processo.

Para o desenvolvimento dos diagramas dos níveis inferiores, isto é, para a criação dos diagramas filhos pode ser necessário a utilização de um outro tipo de simbologia para descrever o processo. A simbologia mais utilizada para tal encontra-se na tabela 4.2.

Tabela 4.2 Principal simbologia de conexão entre as várias actividades no método IDEF  
(Fonte: Adaptado de Mayer, Menzel, Painter, Witte, Blinn, & Perakath, 1995)

Principal Simbologia de Conexão		
Símbolos	Significado	Exemplo
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica um fluxo paralelo ou alternativo entre as actividades.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica um fluxo paralelo com começo em simultâneo por todas as actividades.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica que o fluxo pode não passar por todas as actividades ou que o começo das actividades não é em simultâneo.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indica que o fluxo inicia-se nas actividades em simultâneo.</li> </ul>	

Para uma melhor compreensão do método aqui descrito pode ser consultado a obra de *Mayer, Menzel, Painter, Withe, Blin e Perakath (1995)*.

Assim, para a utilização deste método na descrição desta proposta, inicia-se com caracterização do procedimento proposto com a construção do diagrama macro o qual se apresenta na figura 4.18.

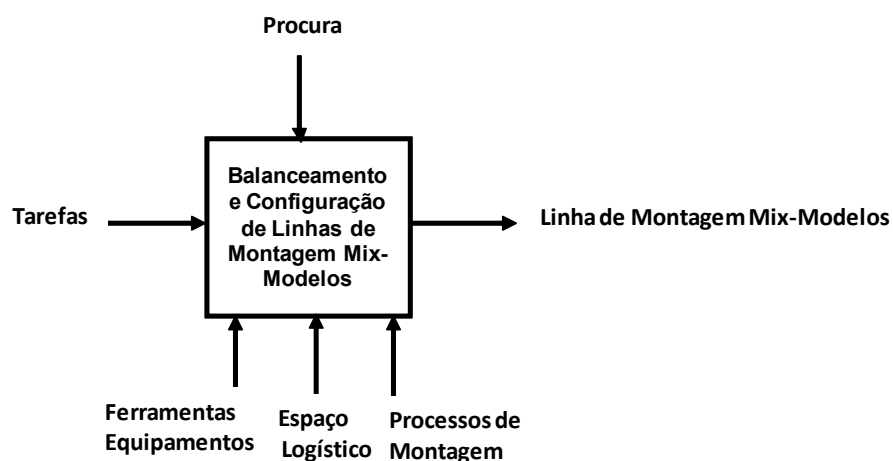


Figura 4.18 Diagrama macro do procedimento proposto

A partir da análise do diagrama anterior torna-se possível identificar o objecto principal em estudo, o balanceamento e configuração de linhas de montagem mix-modelos uma vez que este se encontra dentro da actividade principal que é aqui representada como um quadrado. Outros dados importantes podem, também, visualizarem-se como, por exemplo, os dados de entrada necessários para concretizar do objectivo pretendido, neste caso em concreto, as entradas correspondem às tarefas de montagem necessárias a efectuar no produto para que no final se consiga balancear e configurar uma linha de montagem mix-modelos que se adequa aos produtos e quantidades a fabricar. Na parte inferior da actividade principal observa-se, também, a entrada de três mecanismos diferentes que são necessários para a elaboração correcta das tarefas de montagem a realizar no produto e sem eles não é possível gerar o produto final (Noh, Park, Kong, Han, Kim & Lee, 2005). Os dados referentes à procura encontram-se a entrar por cima da actividade principal o que indica que este dado requer algum tipo de controlo na medida em que para diferentes volumes de produção a configuração e balanceamento da linha de montagem são diferentes.

Os métodos IDEF0 e IDEF3 permitem, também, a partir do diagrama principal originar diagramas filhos. Assim, para este caso, pode-se a partir do diagrama apresentado anteriormente criar um diagrama filho no qual se pode visualizar as três etapas principais pela qual se deve passar para conceber uma linha de montagem mix-modelos. Desta forma, a figura 4.19 apresenta o diagrama filho desenvolvido a partir do diagrama principal.

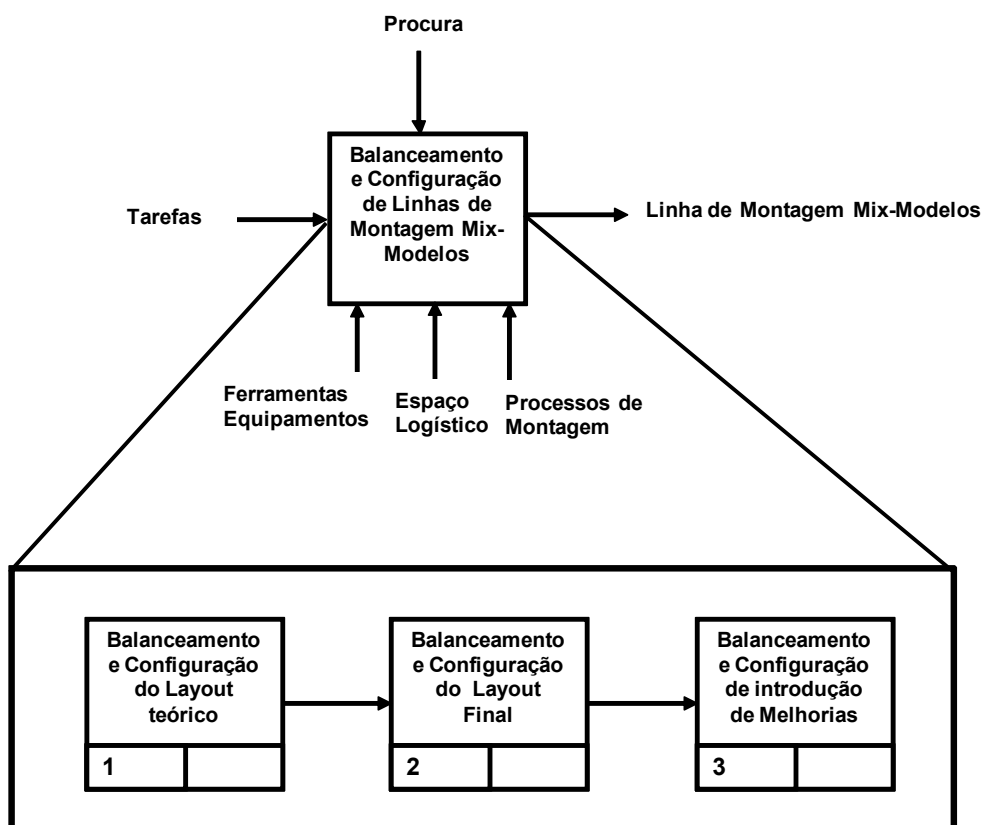


Figura 4.19 Diagrama detalhado representativo das três etapas da concepção

Analisando a figura anterior sabe-se que a etapa principal se subdivide nas três etapas referidas no início da secção. Cada uma destas etapas está numerada de forma a identificar o seguimento lógico da concepção da linha.

Para cada uma destas etapas foi, também, desenvolvido o seus diagramas filhos respectivos e os quais são apresentados nas secções seguintes.

É de notar que a identificação destas etapas tiveram como base o artigo “*Concurrent and Collaboration process planning for automotive general assembly*” (Noh, Park, Kong, Han, Kim, & Lee, 2005).

#### 4.4.1 Etapa 1- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* teórico da linha de montagem

A primeira etapa para a concepção de uma linha de montagem mix-modelos designa-se como elaboração do balanceamento e configuração do *layout* teórico da linha de montagem. Como referido anteriormente, esta etapa, também, apresenta um diagrama filho o qual se observa na figura 4.20.

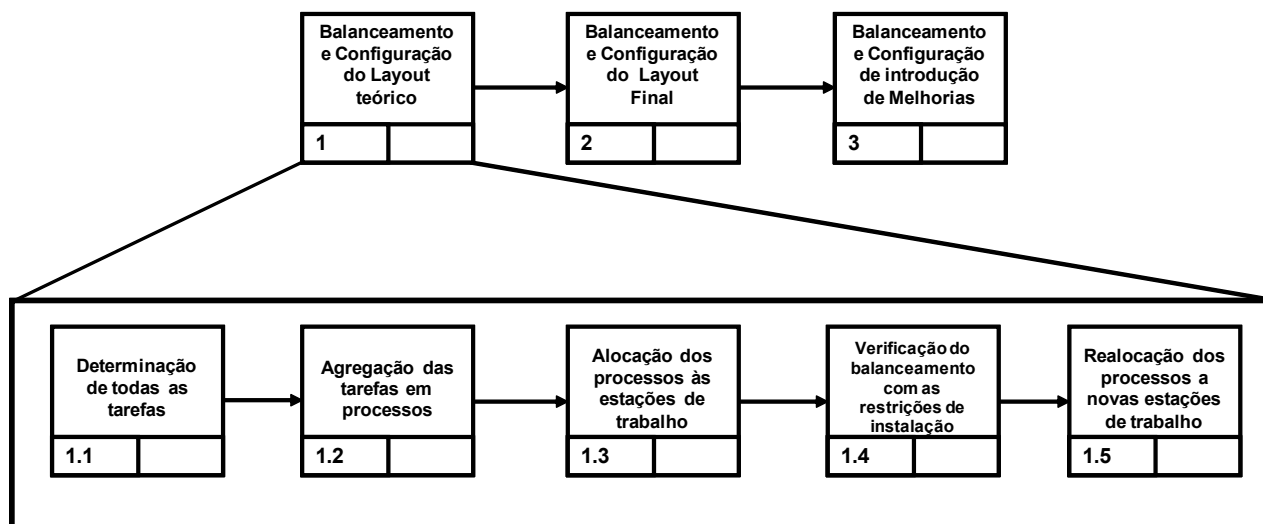


Figura 4.20 Diagrama 1:Balanceamento e configura do *layout* teórico

Analisando a figura 4.20 observa-se que esta etapa se subdivide em mais 5 etapas sendo as quais caracterizadas seguidamente:

- **Etapa 1.1: Determinação de todas as tarefas:**

A etapa 1.1 inicia-se com a identificação e listagem de todas as tarefas de montagem a executar no produto, etapa 1.1.1. Após esta etapa concluída, identifica-se as precedências para cada uma das tarefas descritas anteriormente, etapa 1.1.2, assim como, em simultâneo, se identifica em qual dos modelos é que as tarefas são executadas, etapa 1.1.3. Na figura 4.21 encontra-se o diagrama filho da etapa 1.1.

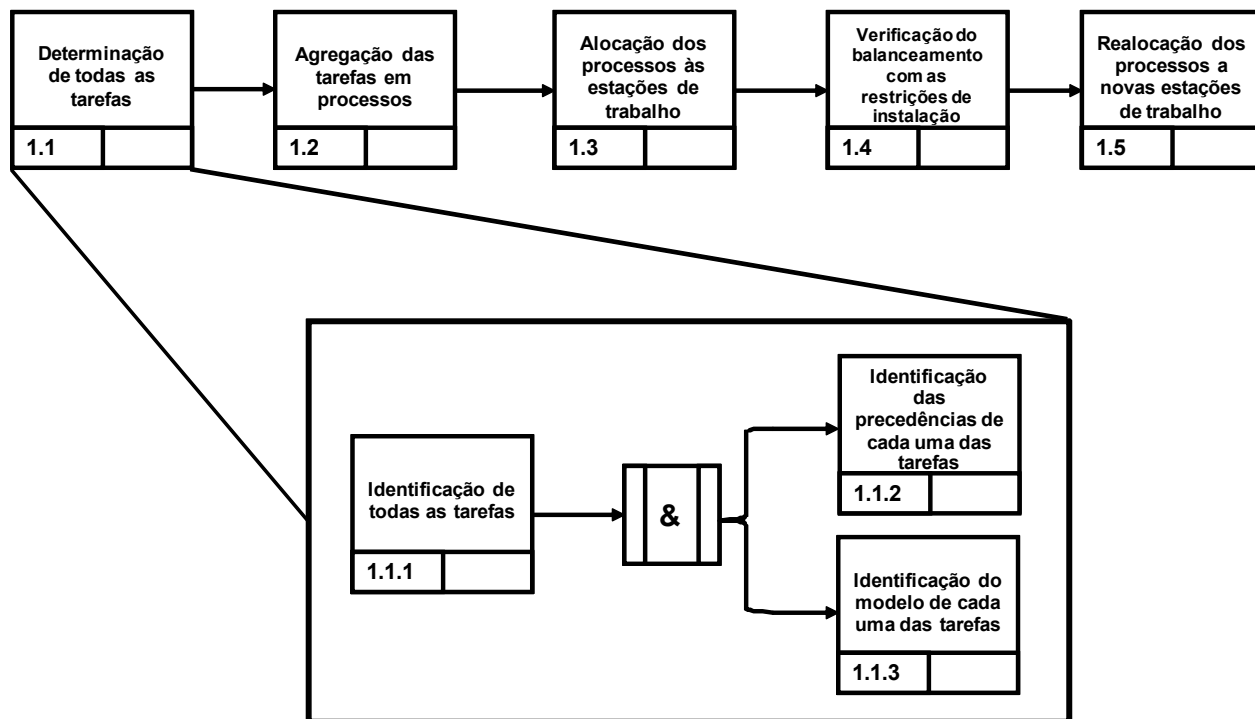


Figura 4.21 Diagrama 1.1: Determinação de todas as tarefas

- **Etapa 1.2: Agregação das tarefas em processos:**

Após, a conclusão da etapa anterior, inicia-se o procedimento de agregação das várias tarefas em processos segundo as precedências definidas anteriormente e a indicação de qual dos modelos executa as tarefas, etapa 1.2.1. Em seguida procede-se à determinação do tempo estimado da duração de cada um dos processos definidos anteriormente, etapa 1.2.2. O diagrama desta etapa apresenta-se na figura 4.22.

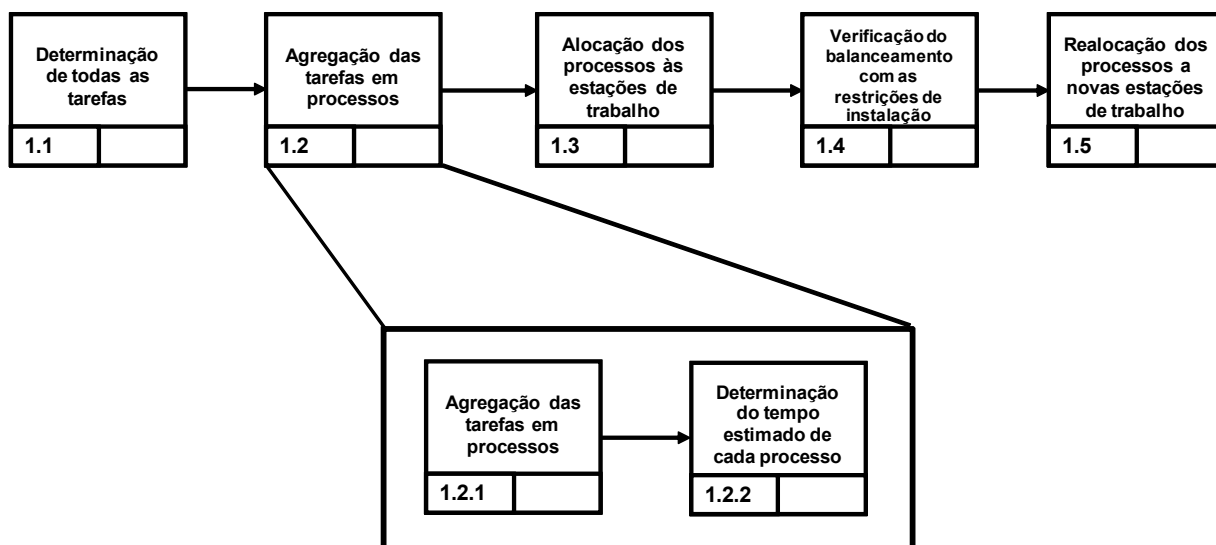


Figura 4.22 Diagrama 1.2: Agregação das tarefas em processos

- **Etapa 1.3: Alocação dos processos às estações de trabalho:**

Depois de todos os processos estarem definidos realiza-se o balanceamento da linha de montagem de forma a distribuir todos os processos pelas estações de trabalho correctas, etapa 1.3.3. para a realização deste balanceamento poderá utilizar-se algum algoritmo matemático específico. Antes do balanceamento propriamente dito precisa-se de determinar o tempo de ciclo, etapa 1.3.1 e identificar, também, as restrições de balanceamento, etapa 1.3.2. Estas restrições de balanceamento dependem das condições definidas para a fabricação do produto, sendo por exemplo, o facto de cada uma dos processos poder ou não ser executado em mais do que uma estação de trabalho ou o tempo de ciclo poder ou não ser excedido. É de notar que estas duas etapas são efectuadas em simultâneo. A figura 4.23 ilustra o diagrama filho desta etapa.

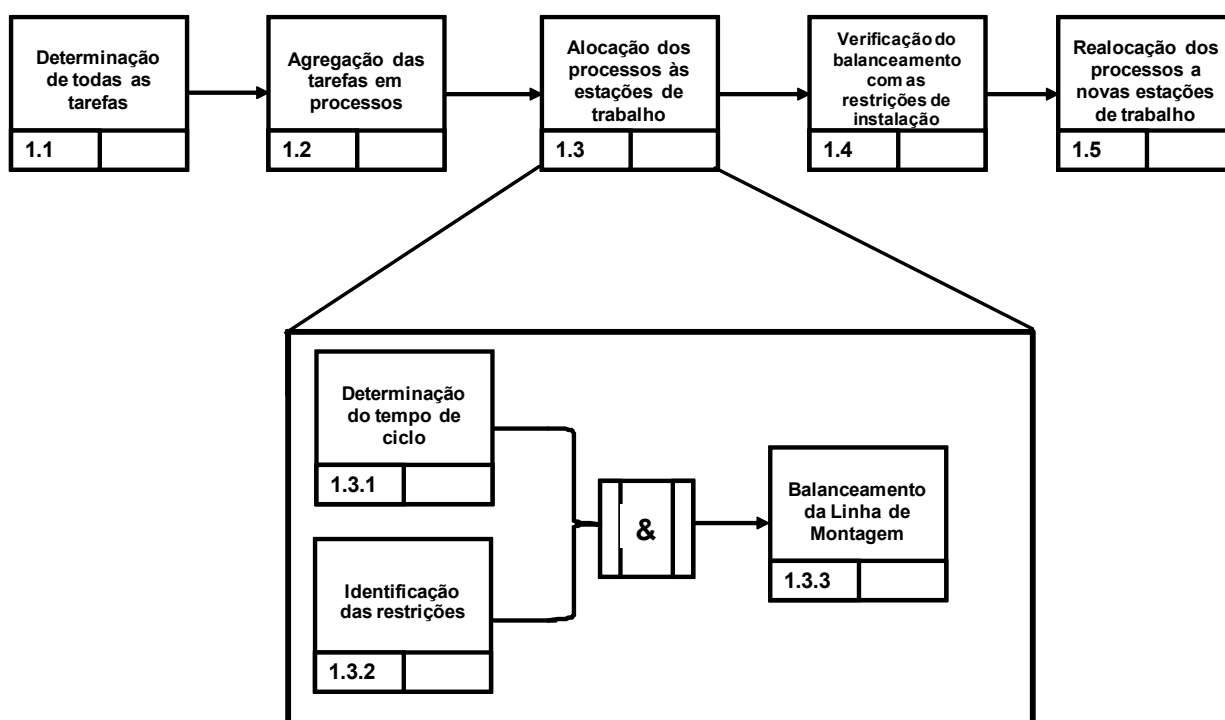


Figura 4.23 Diagrama 1.3: Alocação dos processos às estações de trabalho

- **Etapa 1.4: Verificação do balanceamento com as restrições de instalação:**

Após efectuado o balanceamento da linha de montagem, verifica-se fisicamente se este balanceamento se pode realizar (etapa 1.4.1) tendo em conta as diversas restrições de instalação enumeradas na secção 4.3. A verificação de todas estas restrições deve ser efectuada em simultâneo como indica o diagrama da figura 4.24.



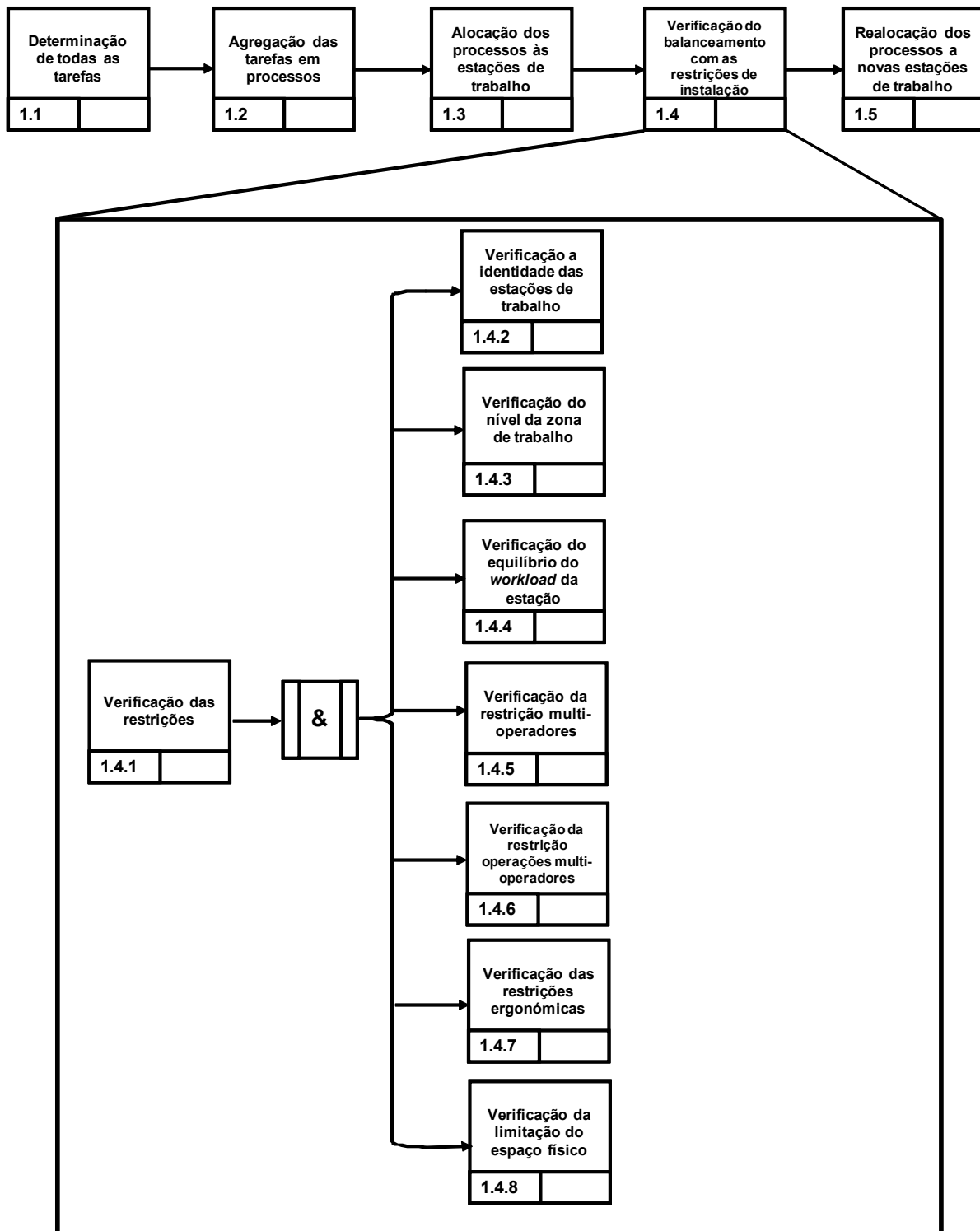


Figura 4.24 Diagrama 1.4: Verificação das restrições de instalação

- **Etapa 1.5: Realocação dos processos a novas estações de trabalho:**

A etapa 1.5 apenas se verifica se no final da etapa 1.4 se detectar a existência de conflitos não sendo, assim, possível concretizar o balanceamento e configuração da linha de montagem anteriormente definida. Desta forma, identifica-se as restrições de instalação que não foram cumpridas, etapa 1.5.1, e realoca-se os processos a novas

estações de trabalho de forma a não se verificar nenhum conflito com as restrições de instalação, etapa 1.5.2. A figura 4.25 apresenta o diagrama filho desta etapa.

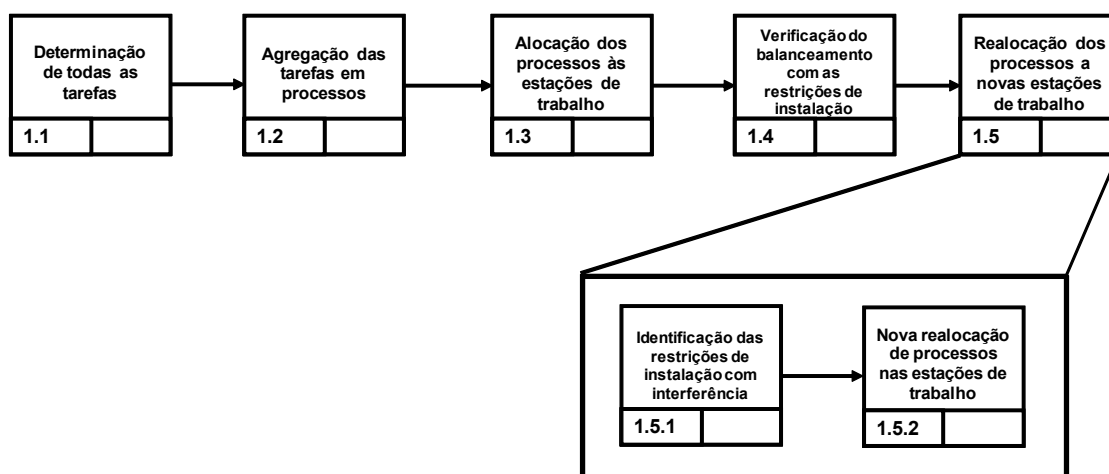


Figura 4.25 Diagrama 1.5: Realocação dos processos a novas estações de trabalho

#### 4.4.2 Etapa 2 - Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* final da linha de montagem

A segunda etapa da concepção de uma linha de montagem mix-modelos corresponde à elaboração do balanceamento e configuração do *layout* final da linha de montagem. A criação desta etapa deve-se ao facto de no planeamento e instalação de uma linha de montagem existirem diversos factores a ter em conta, nomeadamente, a procura do produto, o espaço físico disponível, os equipamentos e as ferramentas que se pretende adquirir ou reutilizar. O planeamento de todos estes factores pode trazer alguns problemas.

Assim, em regra, o planeamento destes inicia-se com algum tempo de antecedência de forma a precaver eventuais problemas que podem ocorrer. Contudo, no espaço de tempo que medeia o planeamento pode surgir várias mudanças sendo a mais usual a variação na procura dos produtos. A alteração da procura dos produtos implica, por sua vez, modificações em alguns tópicos importantes no planeamento de uma linha de montagem, como é o caso do tempo de ciclo. Se o tempo de ciclo não for o correcto todo o balanceamento realizado anteriormente altera-se.

De uma forma geral, a introdução de uma variação desenvolve uma cascata de alterações no projecto final. A melhor forma de solucionar este problema resume-se à modificação do projecto anteriormente definido de forma a satisfazer as novas

exigências. Assim, desta forma, a figura 4.26 apresenta as diversas fases que deverão ser desenvolvidas para alterar o projecto inicial.

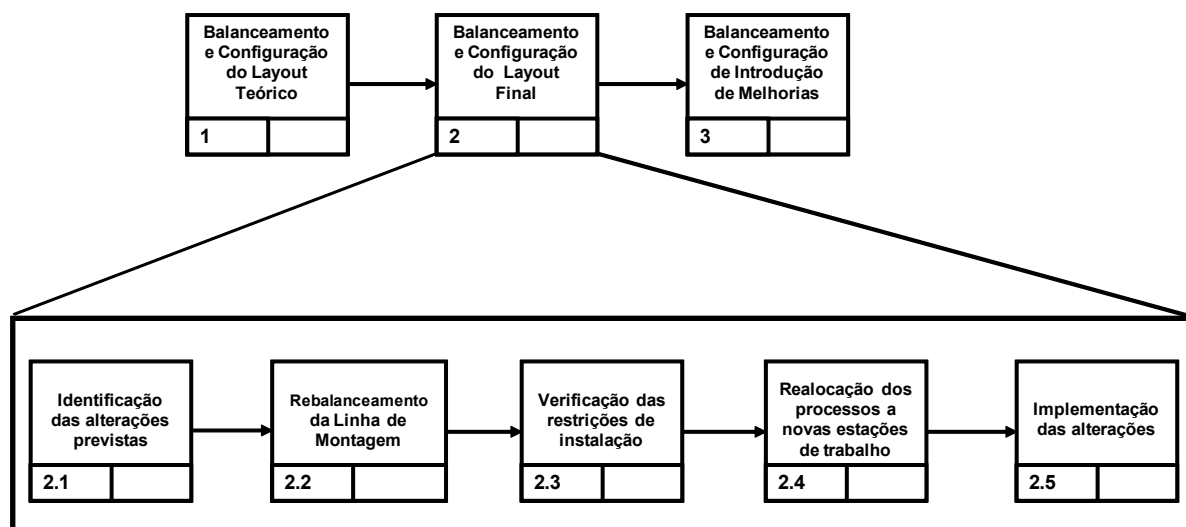


Figura 4.26 Diagrama 2: Balanceamento e configuração do *layout* final

A partir da análise da figura anterior sabe-se que as actividades subjacentes à etapa 2 são:

- **Etapa 2.1: Identificação das alterações previstas:**

Esta etapa caracteriza-se, essencialmente, pela identificação das alterações necessárias ao balanceamento e configuração anteriormente definidos.

- **Etapa 2.2: Rebalanceamento da linha de montagem:**

Após, a identificação das alterações necessárias inicia-se, então, o processo de rebalanceamento da linha de montagem. Tal, como na etapa 1.3.3, pode-se utilizar para tal um algoritmo de balanceamento.

- **Etapa 2.3: Verificação das restrições de instalação:**

À semelhança do que aconteceu na etapa 1, também aqui, necessita-se de verificar as restrições de instalação com o objectivo de detectar a existência ou não de algum conflito.

- **Etapa 2.4: Realocação dos processos a novas estações de trabalho:**

Esta etapa sucede a etapa anterior e verifica-se apenas quando são detectadas interferências na etapa anterior.

- **Etapa 2.5: Implementação das alterações:**

A última etapa consiste na implementação das alterações necessárias a realizar na linha de montagem.

#### 4.4.3 Etapa 3 - Balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem

A terceira e última etapa da concepção de uma linha de montagem mix-modelos designa-se como balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem. Esta etapa surge no aparecimento de alterações após a linha de montagem anteriormente definida ter sido instalada. As alterações aqui identificadas devem-se, essencialmente, à inserção de novos modelos ou à optimização da linha de montagem já existente.

No caso de as alterações deverem-se à inserção de um novo modelo, estas dependem da diferença entre o novo modelo e os modelos já fabricados, tornando-se assim, difícil enumerar as razões das eventuais modificações uma vez que existe um grande leque de possibilidades. Quanto às alterações aquando da optimização da linha de montagem, também, são difíceis de enumerar uma vez que estas resultam do estudo do espaço logístico ocupado, do processo de montagem existente e do balanceamento realizado. Os resultados obtidos com estes podem provocar pequenas modificações, como alterar a localização de uma *rack* na lateral da linha de montagem, ou grandes investimentos, como realocar ou substituir um equipamento instalado. No entanto, pode-se de uma forma genérica sintetizar as etapas principais que caracterizam estas modificações e as quais se encontram apresentadas no diagrama apresentado na figura 4.27.

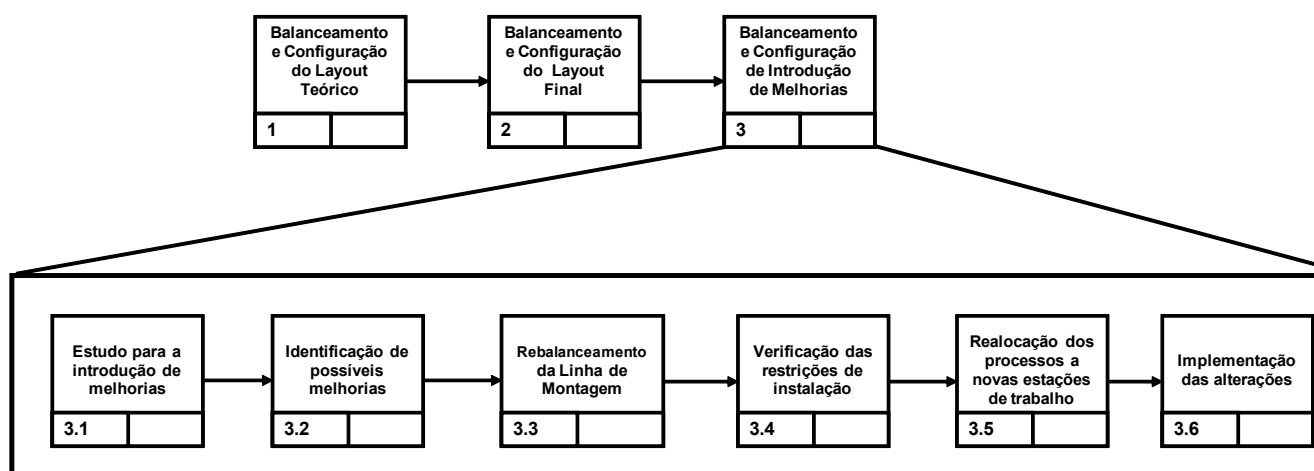


Figura 4.27 Diagrama 3: Balanceamento e configuração de introdução de melhorias

Cada uma das etapas mencionadas na figura 4.27 são descritas seguidamente:

- **Etapa 3.1: Estudo para a introdução de melhorias:**

A primeira etapa deste processo inicia-se, claro, com um estudo inicial à linha de montagem existente de forma a, posteriormente, poderem ser detectados potenciais pontos de melhoria. Tal como referido anteriormente este estudo pode ter como base diversos factores.

- **Etapa 3.2: Identificação de possíveis pontos de melhoria:**

Após efectuado o estudo à linha de montagem pode-se, então, iniciar a etapa correspondente à identificação de possíveis pontos de melhoria a implementar na linha de montagem.

- **Etapa 3.3: Rebalanceamento da linha de montagem:**

Esta etapa caracteriza-se pelo rebalanceamento da linha de montagem segundo os pontos de melhoria detectados anteriormente.

- **Etapa 3.4: Verificação das restrições de instalação:**

Tal como se verificou na etapa 2, a actividade posterior ao rebalanceamento da linha de montagem consiste na verificação das restrições de instalação para que mais uma vez possa ser detectados conflitos antes da implementação.

- **Etapa 3.5: Realocação dos processos a novas estações de trabalho:**

A etapa 3.5 apenas se verifica caso na etapa anterior sejam detectadas interferências. Para a resolução dessas interferências realoca-se os processos a outras estações de trabalho.

- **Etapa 3.6: Implementação das melhorias:**

A última etapa de todas consiste na implementação dos processos às estações de trabalho agora definidas.

## 4.5 Destaques do capítulo

Actualmente, as linhas de montagem mix-modelos ganharam uma grande importância na medida em que com o desenvolvimento do mercado as indústrias viram-se obrigadas a modificar e a evoluir os seus mecanismos de produção de forma a conseguirem atingir os objectivos impostos pelo mercado actual. Estes objectivos visam a fabricação de um número cada vez maior de modelos de produtos sem que

para tal, as indústrias tenham de aumentar os seus custos significativamente. A opção mais vantajosa para as indústrias consiste na implementação de uma linha de montagem mix-modelos.

Assim, este capítulo pretendeu de uma forma simples abordar as diferentes adversidades que as indústrias podem encontrar aquando da instalação deste tipo de linha de montagem. Muitas das restrições de instalação detectadas devem-se ao facto de, por vezes, já existir linhas de montagem nas indústrias o que no fundo origina uma modificação ou uma adaptação da linha de montagem já existente para uma linha de montagem mix-modelos. Esta adaptação vai gerar várias adversidades e que se não forem tidas em conta aquando do balanceamento e configuração da linha pode provocar grandes transtornos, como por exemplo, alterações da disposição física de alguns equipamentos. Estas alterações na maioria das vezes implicam grandes investimentos o que não é do agrado das indústrias.

Salienta-se, então, desta forma o grau de importância da identificação e verificação destas restrições de instalação. Algumas destas restrições devem-se, também, à configuração deste tipo de linha em linhas de dois lados, já que, esta configuração permite aumentar o grau de flexibilidade da linha de montagem uma vez que se executa trabalho em ambos os lados da linha.

Em consequência da importância deste tipo de linhas de montagem no mercado actual verifica-se ser bastante útil a existência de um procedimento que permite enumerar as diversas etapas que se deve ter em consideração quando se pretende instalar uma linha de montagem desta espécie com esta configuração. Assim, na parte final deste capítulo foi possível desenvolver uma proposta de procedimento para implementação desta linha. Esta proposta de implementação caracteriza-se pela existência de três etapas principais sendo elas:

- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* teórico da linha de montagem;
- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* final da linha de montagem;
- Balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem.

Cada uma destas etapas constitui-se por diversas actividades que, também, elas foram identificadas e caracterizadas.

O desenvolvimento desta proposta teve em atenção, não só, as fases iniciais que se deverão ter em conta aquando do desenvolvimento de um projecto de instalação de uma linha de montagem, mas também, as fases posteriores a essa instalação inicial que correspondem à introdução de melhorias na linha de montagem. Esta fase apresenta, nos dias de hoje, uma importância cada vez maior uma vez que esta se deve à inserção de novos modelos na linha de montagem, isto numa tentativa de aumentar a satisfação do consumidor, e também, à procura de uma melhoria da linha de montagem existente. Esta melhoria pretende elevar os níveis de produtividade na indústria. O procedimento desenvolvido pretende, assim, simplificar toda a complexidade de uma instalação de uma linha de montagem mix-modelos. Para a descrição deste procedimento optou-se pela utilização do método de representação gráfica IDEF0/IDEF3 para uma maior simplicidade na esquematização das diferentes actividades compostas por estas etapas.

No entanto, esta proposta necessita de ser validada o que se pretende realizar no capítulo seguinte.

## **Capítulo V**

### **Estudo de Caso**



## 5.1 Introdução

No capítulo anterior foi possível apresentar uma proposta de um procedimento para a concepção de uma linha de montagem mix-modelos. Tal como referido anteriormente, esta proposta constitui-se por três etapas principais sendo que neste capítulo apenas se focará na etapa 3, a etapa referente ao balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem. Esta etapa surge na sequência da necessidade de adicionar novos modelos à produção existente ou à optimização da própria linha de montagem de forma a aumentar os níveis de produtividade da indústria. Desta forma, o presente capítulo tem como um dos objectivos validar a terceira etapa da proposta de concepção da linha de montagem mix-modelos.

A empresa na qual foi realizado o estudo para a validação deste procedimento pede uma total confidencialidade dos dados. Desta forma, todos os dados e informação contidos nesta secção estão distorcidos da realidade.

Um outro objectivo proposto para este capítulo consiste no estudo da linha de montagem utilizada para a validação do procedimento proposto através do algoritmo descrito no capítulo III desta dissertação. Este algoritmo utiliza-se para balancear linhas de montagem mix-modelos com a configuração de dois lados o que se aplica na sua totalidade à linha de montagem encontrada na empresa e às condições do mercado actual.

## 5.2 Validação do procedimento de concepção de uma linha de montagem mix-modelos

A validação do procedimento proposto divide-se em duas fases sendo a primeira formada pela caracterização do estado actual da linha de montagem o qual corresponde à fase onde são identificados os problemas existentes e possíveis pontos de melhoria. Na fase seguinte caracteriza-se o estado final da linha de montagem no qual se pode observar as melhorias atingidas com a implementação das medidas determinadas na primeira fase.

### 5.2.1 Caracterização do estado inicial da linha de montagem

A linha de montagem em análise constitui-se por cerca de uma centena de estações de trabalho e assume-se que de entre todas as estações de trabalho existentes se pretende validar o procedimento proposto nas primeiras estações de trabalho existentes na linha de montagem. Pode-se, também, admitir que nas estações de trabalho em análise pode existir instalado alguns equipamentos que auxiliam determinadas montagens no produto e que o produto desloca-se de uma estação para a outra através de um sistema de transporte.

Quanto aos operadores existentes nestas estações em análise considera-se que são dotados de uma enorme versatilidade e polivalência de forma a que podem desempenhar qualquer dos diferentes postos de trabalho existentes numa determinada zona da linha de montagem.

Neste contexto pretende-se caracterizar o estado inicial da linha de montagem utilizando para tal a terceira etapa do procedimento, balanceamento e configuração de introduções de melhorias na linha de montagem, que pode ser observado na figura 5.1. Tal como referido no capítulo anterior, esta etapa do procedimento tem como actividade inicial o estudo para a introdução de melhorias.

Neste sentido, seguidamente, inicia-se o estudo da linha de montagem inicial e caracteriza-se os principais problemas detectados.

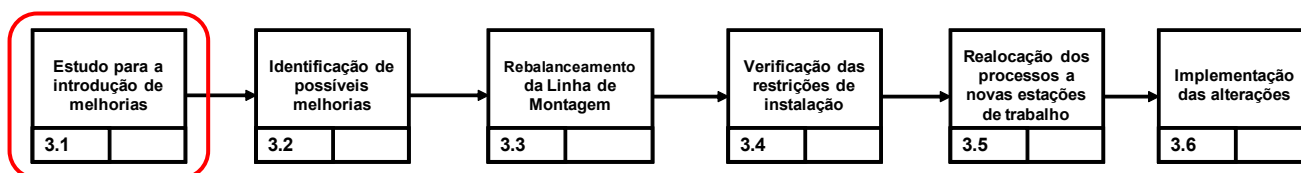


Figura 5.1 Etapa 3.1: Estudo para a introdução de melhorias

Considerando que este estudo foca-se nas cinco primeiras estações de trabalho da linha de montagem e que a numeração destas estações de trabalho inicia-se na estação 0 e termina na estação 4, a figura 5.2 apresenta a localização dos operadores existentes neste excerto da linha de montagem.

Observando a imagem verifica-se que nesta zona da linha de montagem existe um total de oito operadores dos quais três operadores executam tarefas no lado direito do produto, três executam tarefas do lado esquerdo do produto e que dois estão alocados à frente e traseira do produto. Cada um destes operadores possui uma numeração para que seja mais fácil identificar qual a sua área de trabalho.

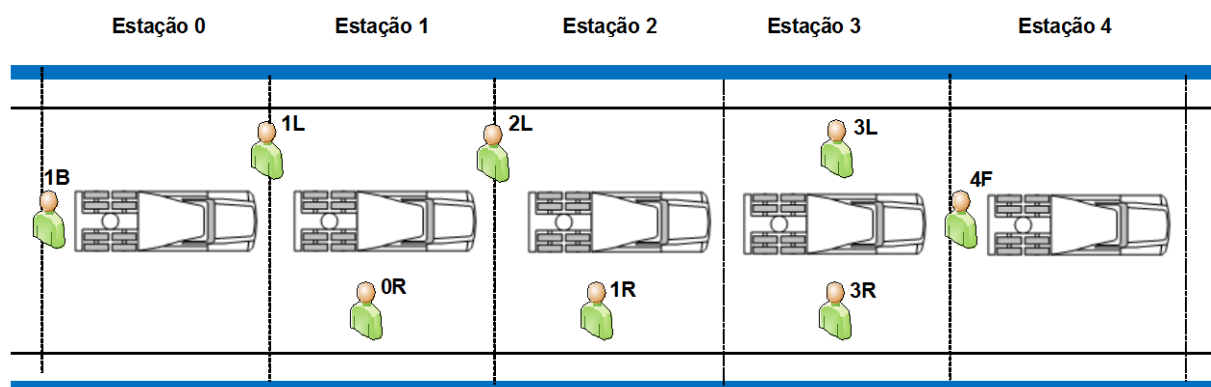


Figura 5.2 Localização dos operadores na fase inicial

Analisando em detalhe a figura anterior sabe-se que o operador alocado à estação 1B situa-se fisicamente na estação 0 o que não seria de esperar uma vez que se este possui a numeração 1B significa que a sua área de trabalho deve-se situar na estação 1. Continuando, a análise à figura, verifica-se que este facto se repete com mais cinco operadores, nomeadamente, os operadores da estação 1L, 2L, 0R, 1R e 4F.

Os operadores da estação 0R, 1R e 4F estão fisicamente dentro de um única estação de trabalho. No entanto, a numeração dessas estações de trabalho não correspondem as suas numerações. Os operadores das estações 1L e 2L apresentam um caso mais grave uma vez que as suas áreas de trabalho não se situam numa única estação de trabalho, mas sim, entre duas estações de trabalho. A ocorrência desta situação pode levar à existência de interferências entre os operadores uma vez que estes podem por vezes ter uma proximidade física bastante grande, aquando da execução das suas tarefas, o que pode gerar tempos de espera por parte de algum deles.

Desta forma, pode-se concluir que, numa primeira análise detectou-se a existência da localização incorrecta dos operadores. Contudo, continua, ainda, por esclarecer qual as razões que levaram à origem destas ocorrências.

Um factor importante para a caracterização de uma linha de montagem relaciona-se com a localização dos componentes que cada um dos operadores deve ter à sua disposição para efectuar as montagens no produto. Neste sentido, considera-se que a figura 5.3 apresente a ocupação do espaço logístico existente nas estações de trabalho em análise. É de notar que, a partir deste instante, os componentes serão denominados de objectos devido à confidencialidade de dados requerida.

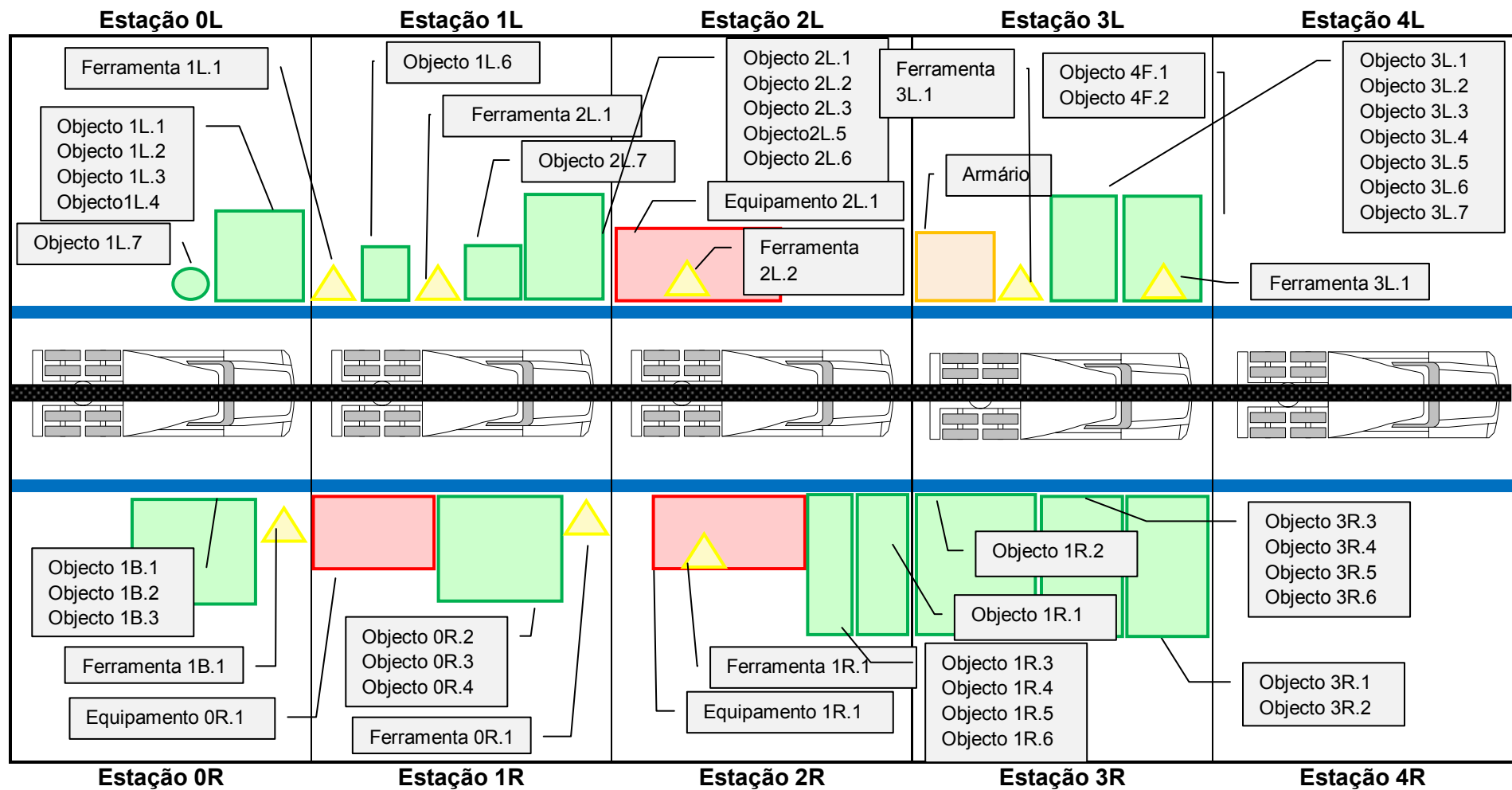


Figura 5.3 Ocupação do espaço logístico, situação inicial

Refere-se, ainda, que o processo de codificação dos objectos é igual para todas as estações de trabalho apresentadas. Este processo de codificação consiste na numeração dos objectos por estação de trabalho, zona de trabalho e o número de objectos que o operador dessa estação necessita de montar. Por exemplo, os objectos pertencentes à estação 1L apresentam a codificação de 1L. $x$  com  $x = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ .

Assim, olhando em pormenor a figura 5.3, sabe-se que os objectos pertencentes ao operador da estação 1B se encontram na lateral da estação 0R o que leva ao facto evidenciado anteriormente, isto é, ao posicionamento incorrecto dos operadores. Através da análise da mesma figura sabe-se, também, que os objectos pertencentes à estação 1B se encontram na estação 0R porque o espaço logístico da estação 1 tanto do lado esquerdo como do lado direito encontram-se ocupados com outros objectos. Surge, assim, uma questão, será que os objectos que se encontram no interior do espaço logístico da estação 1L e 1R devem estar lá localizados?

A resposta a esta pergunta pode ser obtida a partir da figura 5.3. Assim, analisando o espaço logístico da estação 1R verifica-se que neste existe os objectos pertencentes à estação 0R o que não seria de esperar. Já, na estação 1L, também se verifica o mal posicionamento dos objectos uma vez que na estação 1L se encontram os objectos pertencentes ao operador da estação 1L e os objectos do operador da estação 2L.

Como o espaço logístico das estações já abordadas estão mal posicionados pode-se prever que o espaço logístico correspondente às restantes estações de trabalho, também, evidenciem esse facto. Existindo, apenas, a excepção das estações 3L e 3R onde os objectos destas estações estão no interior das mesmas.

Através da análise da figura 5.3 pode-se constatar, também, o porquê dos operadores da estação 1L e da estação 2L se encontrarem a realizar as suas tarefas entre duas estações de trabalho. Este problema deve-se ao facto do material a montar nas estações mencionadas se encontrar repartido pelas duas estações. Um exemplo pode ser a estação 1L onde os seus componentes se encontram distribuídos pela estação 0L e pela estação 1L. Nestas condições, o operador executa o seu trabalho entre as estações.

Com a análise da ocupação do espaço logístico foi possível identificar a origem do mal posicionamento dos operadores. A mal distribuição dos componentes pelas estações tem, ainda, uma outra consequência, o aumento do deslocamento que os

operadores efectuem para realizar as suas tarefas. Este facto revela-se, ainda, um pressuposto onde para constá-lo utilizou-se o **Diagrama de Esparguete**.

O diagrama de esparguete consiste numa ferramenta que permite a representação gráfica onde se regista as deslocações efectuadas pelas identidades em observação aquando da realização das suas operações (Liker, 2005).

Utilizando, então, esta ferramenta para o estudo dos deslocamentos das estações em análise assume-se que o resultado obtido para cada uma das estações é aquele se apresenta no anexo B: Diagrama de esparguete da situação inicial. No entanto, a figura seguinte apresenta um exemplo de um dos diagramas de esparguete existentes neste anexo.

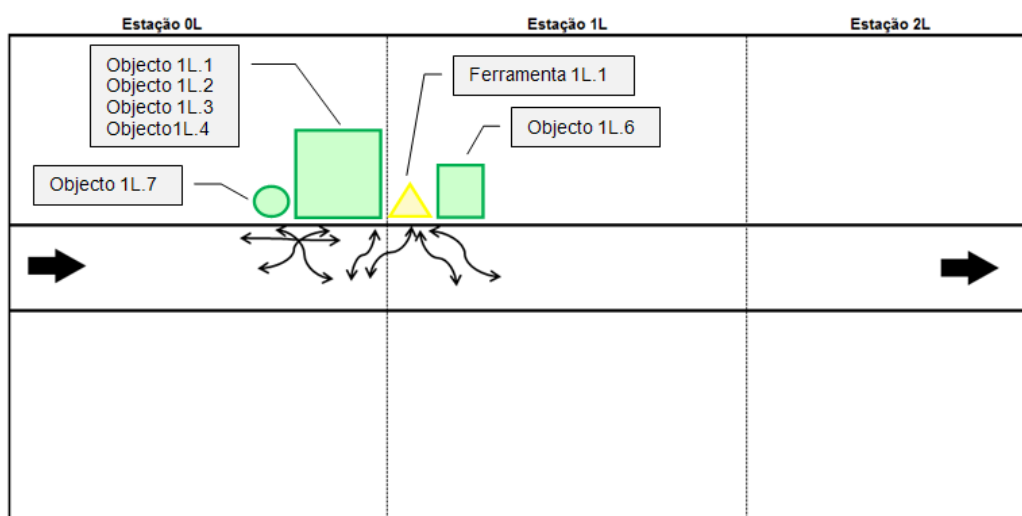


Figura 5.4 Diagrama de esparguete da estação 1L, situação inicial

A partir da análise da figura 5.4 verifica-se que o operador desta estação de trabalho realiza um número elevado de deslocamento não só por ter de se deslocar entre mais do que uma estação de trabalho, mas também, devido à constante necessidade de se deslocar à lateral para se abastecer com os objectos a montar no produto. De uma forma geral, todas as outras estações de trabalho apresentam os mesmos problemas.

Um outro factor importante utilizado para a caracterização das linhas de montagem consiste no estudo da descrição dos processos existentes em cada uma das estações de trabalho. Assim, seguidamente, pretende-se iniciar o estudo das descrições dos processos das estações de trabalho. No entanto, torna-se necessário identificar antes, alguns dados importantes para a análise e compreensão da descrição dos processos.

Desta forma, assume-se que a tabela 5.1 apresenta os dados referentes ao tempo de ciclo da linha de montagem, assim como, a indicação de quantos modelos são produzidos e o seu volume de produção.

Tabela 5.1 Dados referentes ao tempo de ciclo e volume de produção

Dados	
Tempo de ciclo	Produção (1 turno)
116 seg.	Modelo $\alpha$ .....75
	Modelo $\beta$ .....150
	Total.....225

A tabela 5.1 refere-se a um único turno de trabalho com a produção fixa de 75 unidades do modelo  $\alpha$  e 150 unidades do modelo  $\beta$  o que perfaz um total de 225 unidades por turno. O tempo de ciclo referido para este total de produção tem o valor de 116 segundos.

Com a identificação desta informação pode-se, então, seguir para o estudo da descrição do processo das estações de trabalho. Tal como aconteceu nos diagramas de esparguete da situação inicial, também, a descrição do processo de todas as estações se encontra em anexo, no anexo C: Descrição do processo da situação inicial. No entanto, a tabela 5.2 apresenta a descrição do processo para a estação de trabalho 1L.

Antes de iniciar a análise da tabela 5.2 torna-se importante referir que o processo de codificação utilizado para a representação do estudo do espaço logístico foi, também, usado na descrição do processo. Isto é, os objectos existentes nas estações em análise apresentam a mesma forma de codificação.

Desta forma, a tabela 5.2 apresenta a descrição do processo para a estação 1L onde se pode visualizar quais são as tarefa realizadas e quais os modelos que requerem a execução dessa tarefa. Um outro pormenor, também, visível nesta tabela consiste no tempo que o operador necessita para executar cada uma das tarefas.

Tabela 5.2 Descrição do processo inicial para a estação 1L

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 1L.1	$\alpha; \beta$	2
2	Prepara objecto 1L.1	$\alpha; \beta$	7
3	Pré-montagem do objecto 1L.1	$\alpha; \beta$	8
4	Pega objecto 1L.2	$\alpha; \beta$	2
5	Prepara objecto 1L.2	$\alpha; \beta$	11
6	Retira objecto 1L.3	$\alpha$	3
7	Retira objecto 1L.4	$\beta$	3
8	Pega objecto 1L.5	$\alpha; \beta$	2
9	Pega objecto 1L.1	$\alpha; \beta$	2
10	Pega objecto 1L.6	$\alpha; \beta$	2
11	Desloca-se para o produto	$\alpha; \beta$	5
12	Coloca objecto 1L.1 no produto	$\alpha; \beta$	4
13	Coloca objecto 1L.6 no produto	$\alpha; \beta$	2
14	Retira objecto 1L.7 do produto	$\alpha; \beta$	6
15	Desloca-se à lateral e coloca objecto 1L.7	$\alpha; \beta$	4
16	Pega objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha; \beta$	4
17	Desloca-se para o produto	$\alpha; \beta$	4
18	Monta objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha; \beta$	16
19	Desloca-se ao suporte da ferramenta 1L.1	$\alpha; \beta$	4
20	Pega ferramenta 1L.1	$\alpha; \beta$	2
21	Desloca-se ao produto	$\alpha; \beta$	4
22	Aperta objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha; \beta$	18
23	Desloca-se ao suporte da ferramenta 1L.1	$\alpha; \beta$	4
24	Pousa ferramenta 1L.1	$\alpha; \beta$	2

A partir do tempo de execução de cada uma das tarefas e do total de produção de cada modelo pode-se calcular a carga de cada um dos modelos e a carga média total através das equações 5.1 e 5.2, respectivamente.

$$Carga\ do\ modelo\ \alpha\ (ou\ \beta) = \frac{Tempo\ total\ de\ todas\ as\ operações\ \alpha\ (ou\ \beta)}{tempo\ de\ ciclo} \times 100 \quad [5.1]$$

$$Carga\ média = \frac{(carga\ média\ \alpha \times produção\ \alpha) + (carga\ média\ \beta \times produção\ \beta)}{produção\ total} \quad [5.2]$$

No caso de estudo em análise, a carga média para cada um dos modelos na estação 1L tem o valor de:



$$Carga\ do\ modelo\ \alpha = \frac{118}{116} \times 100 = 101,72\% \quad [5.3]$$

$$Carga\ do\ modelo\ \beta = \frac{118}{116} \times 100 = 101,72\% \quad [5.4]$$

Sendo a carga média total da estação 1L de:

$$Carga\ média = \frac{(101,72 \times 75) + (101,72 \times 150)}{225} = 101,72\% \quad [5.5]$$

Para as restantes estações de trabalho efectuaram-se os mesmos cálculos de forma a determinar qual a carga de cada modelo e a carga média total em cada uma das estações de trabalho em análise. Desta forma, a tabela 5.3 resume os resultados obtidos. É de notar que estes resultados, também, são referidos no anexo B em conjunto com a descrição do processo de cada uma das estações.

Tabela 5.3 Valores de cargas obtidos nas estações de trabalho, fase inicial

Cargas			
Estação	Carga do modelo		Carga média
	$\alpha$	$\beta$	
1L	101,72%	101,72%	101,72%
2L	118,10%	96,55%	103,74%
3L	95,69%	84,48%	88,22%
0R	108,62%	108,62%	108,62%
1R	107,76%	86,21%	93,39%
3R	112,93%	64,66%	80,85%
1B	98,28%	98,28%	98,28%
4F	103,45%	65,52%	78,16%

Analisando a tabela 5.3 verifica-se que os valores obtidos para a carga do modelo  $\alpha$  são na sua maioria mais elevados do que os valores obtidos para carga do modelo  $\beta$  o que nos permite concluir que o modelo  $\alpha$  apresenta processos mais morosos. No entanto, este facto não apresenta à partida nenhum problema grave na medida em que o modelo  $\alpha$  apresenta um volume de produção inferior ao modelo  $\beta$  o que leva a uma diminuição dos valores da carga média das estações.

Por vezes, pode-se dar o caso de o valor obtido para as cargas de cada um dos modelos apresentar valores idênticos, isto significa, que os processos desempenhados são idênticos em ambos os modelos.

Um outro factor visível, também, na tabela 5.3 relaciona-se com o facto de três estações de trabalho, 1L, 2L e 0R, apresentarem valores de carga média superior a 100% o que leva a existência de uma carga de trabalho excessiva para aquelas estações de trabalho.

Os valores contidos na tabela 5.3 podem ser apresentados, também, sob a forma de um gráfico como se pode observar na figura 5.5.

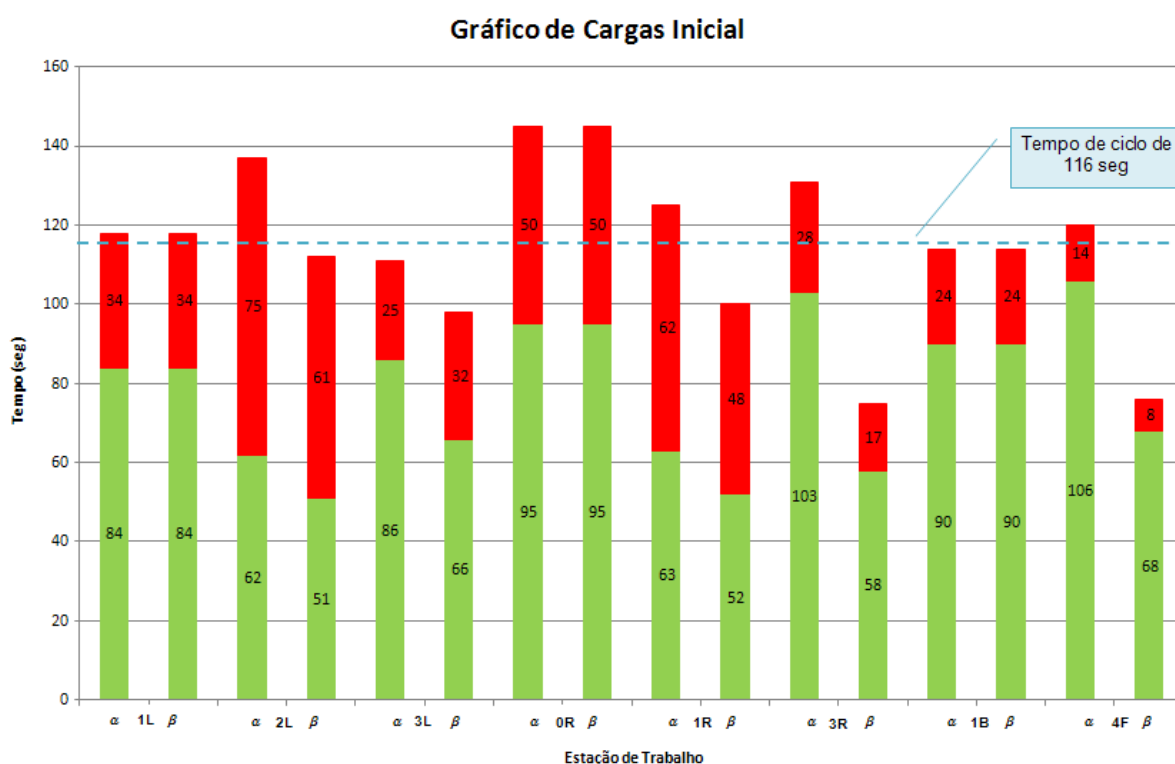


Figura 5.5 Diagrama de carga inicial

Observando o gráfico da figura anterior verifica-se que para cada um dos modelos e para cada uma das estações, a carga de trabalho divide-se em duas cores distintas, sendo elas, o verde e o vermelho. Cada uma destas cores possui uma simbologia:

- **Verde:** representa todas as operações que acrescentam valor ao produto;
- **Vermelho:** representa todas as operações que não acrescentam valor ao produto, isto é, são desperdícios.

Assim, o gráfico anterior foi construído com base na descrição do processo já analisada e a classificação referida anteriormente. Ou seja, à descrição do processo

analisado classificou-se cada uma das tarefas em verde ou vermelho. O critério de classificação dos desperdícios, ou seja a cor vermelha, consistiu em todas as tarefas que claramente são denominadas como deslocamentos ou nas tarefas que correspondem à retirada de objectos. A remoção de objectos classifica-se como desperdício uma vez que ao efectuar esta operação não se está a realizar nenhuma tarefa de valor acrescentado. Todas as outras tarefas são classificadas como verdes.

Analisando, então, o gráfico anterior observa-se que as estações 1L, 2L, 0R e 1R apresentam valores de desperdício bastante levados. Este facto consiste num problema uma vez que estes desperdícios corresponde a tempo no qual o operador não acrescenta valor ao produto e, no entanto, a empresa tem custos associados a este.

Um outro facto evidente neste gráfico consiste no não equilíbrio entre a carga de trabalho dos modelos dentro da mesma estação de trabalho, mas precisamente nas estações 2L, 3L, 1R, 3R e 4F. Este facto origina grandes diferenças de carga de trabalho no operador residente na estação.

Pode-se concluir, então, da análise da figura 5.5 que foram identificados dois pontos a melhorar: a diminuição dos desperdícios e o equilíbrio das cargas de trabalho nas estações de trabalho.

A descrição do processo, para além, de permite a construção do gráfico da figura 5.5 possibilita, também, o estudo do balanceamento da linha de montagem. Isto é, com a descrição de todas as tarefas existentes numa estação de trabalho pode-se determinar quais os seus processos e as suas precedências de forma a posteriormente ser possível construir o diagrama de precedências. No entanto, antes da construção do diagrama de precedências necessita-se de determinar todos os processos existentes nas estações de trabalho em análise. Para este estudo utilizou-se a tabela 5.4 para auxiliar o seu desenvolvimento. É de notar que a tabela mencionada apenas foca o conteúdo da estação de trabalho 1L o que significa que a análise das restantes estações de trabalho se apresentam no anexo D: Alocação dos processos à zona do produto, situação inicial.

A tabela 5.4 resume os principais aspectos a ter em conta aquando a construção de um diagrama de precedências, isto é, contém os principais processos efectuados na estação de trabalho 1L, quais as tarefas contidas em cada um dos processos e, ainda, qual a duração dos processos para cada um dos modelos. Salienta-se que a

numeração dos processos está relacionada com as precedências daí a numeração dos processos contida na tabela 5.4 não apresentar uma sequência.

Tabela 5.4 Principais processos da estação 1L

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração Processos (seg)	
			$\alpha$	$\beta$
2	Processo de preparação do objecto 1L.1	1 à 3	17	17
3	Processo de preparação do objecto 1L.2	4 à 5	13	13
8	Processo de colocação dos objectos 1L.3, 1L.4, 1L.5, 1L.6 e 1L.7	6 à 15	30	30
11	Processo de montagem do objecto 1L.2	16 à 24	58	58

Para as restantes estações de trabalho em análise foi realizado um estudo semelhante o que permitiu a construção do diagrama de precedências apresentado na figura 5.6.

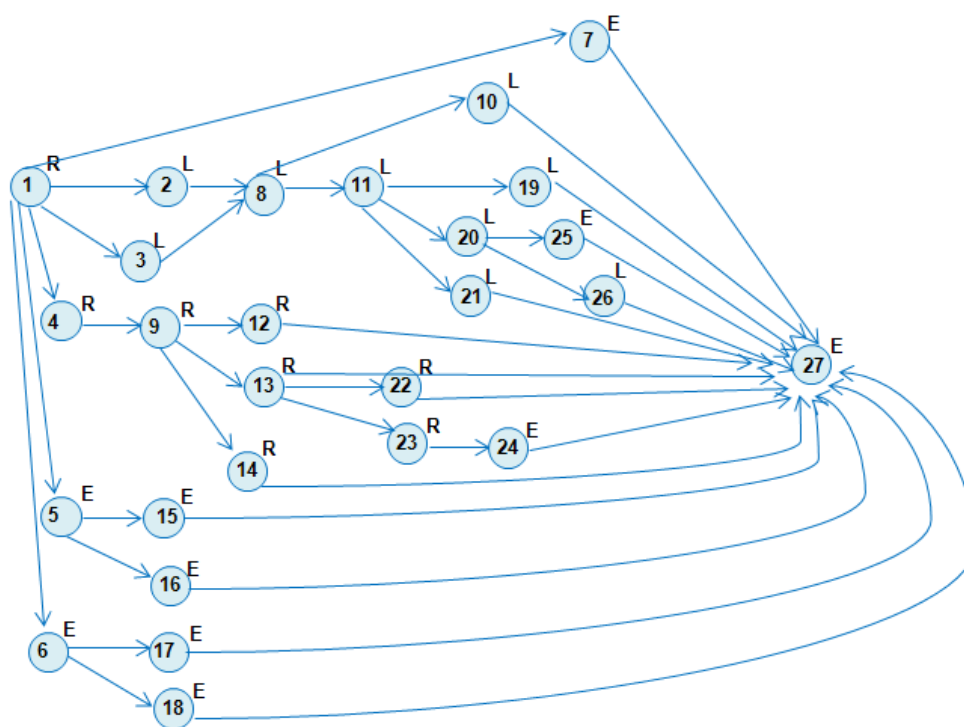


Figura 5.6 Diagrama de precedências

Observando o diagrama de precedências apresentado verifica-se que acima de cada um dos processos existe uma letra. Esta letra indica qual o lado da estação de trabalho que deverá ser utilizado para a realização dos processos. No caso de a letra

apresentada ser um L (*left side* em português lado esquerdo) significa que esse processo deverá ser efectuado do lado esquerdo da estação de trabalho. Para a letra R (*right side* em português lado direito), o processo deve efectuar-se do lado direito. Quando a letra representada for um E (*either side* em português qualquer um dos lados) indica que esse processo pode ser efectuado tanto do lado esquerdo como do lado direito. Os processos representados por esta letra são por norma aqueles que se realizam na parte traseira do produto ou na parte frontal do mesmo pelo que se torna indiferente a alocação destes processos ao lado esquerdo ou ao lado direito da linha de montagem.

Para uma melhor compreensão e visualização de que lados estão alocados cada um dos processos das estações de trabalho em análise construiu-se um diagrama de alocação dos processos à zona do produto. A figura 5.7 apresenta o diagrama da alocação dos processos para a estação de trabalho 1L. Os diagramas das restantes estações de trabalho em estudo estão no anexo D: Alocação dos processos à zona do produto, situação inicial.

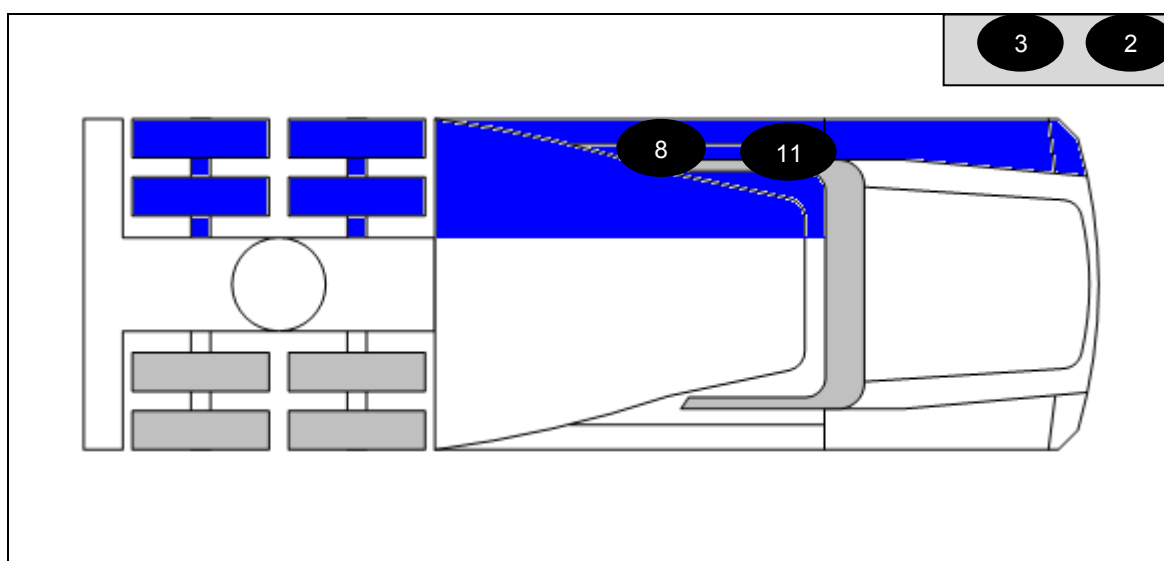


Figura 5.7 Diagrama de alocação dos processos para estação 1L, situação inicial

O diagrama apresentado na figura 5.7 ilustra uma esquemática do produto em fabricação na linha de montagem em análise no qual se coloca os números dos processos existentes da tabela 5.4 no local onde estes se realizam. Neste sentido, sabe-se que os processos da estação de trabalho 1L se efectuam do lado esquerdo do produto onde os processos 8 e 11 se realizam nas zonas do produto indicadas, os processos 2 e 3 efectua-se numa bancada situada na lateral da linha de montagem.

O diagrama de alocação de processos à zona de produto tem o objectivo, também, de identificar em quantas zonas do produto trabalham cada um dos operadores das estações de trabalho na medida em que em quanto mais zonas trabalharem mais deslocações este vão realizar para efectuarem as suas operações. Estas deslocações tal como mencionadas anteriormente não acrescentam valor ao produto o que devem ser eliminadas.

A figura 5.8 apresenta o diagrama de alocação dos processos à zona do produto para todas as estações de trabalho em análise. Este diagrama permite identificar qual as estações de trabalho que operam em mais do que uma zona de trabalho.

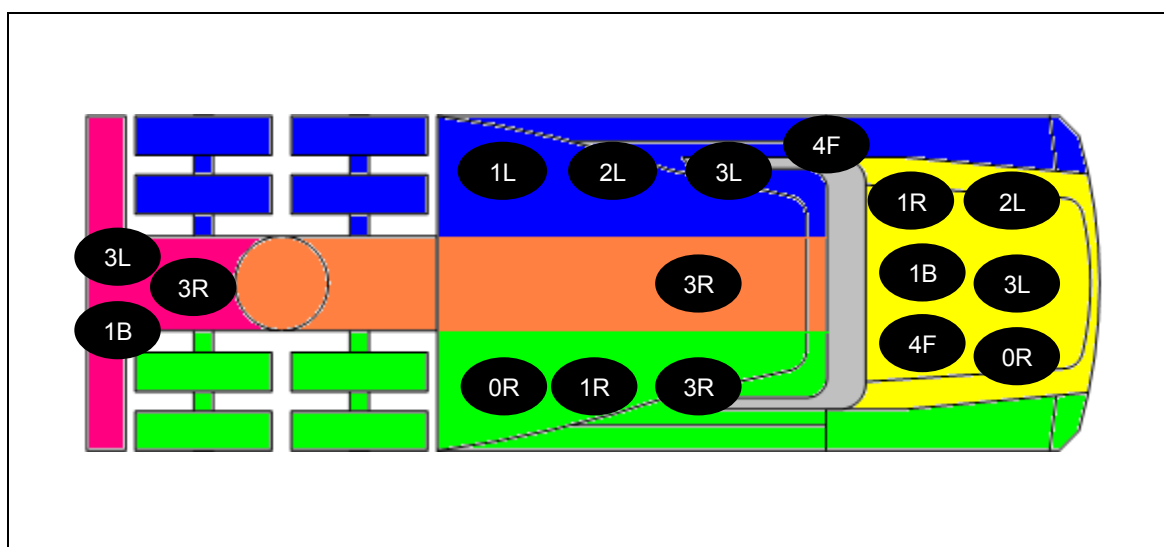


Figura 5.8 Diagrama da alocação dos processos das estações, situação inicial

Desta forma, verifica-se que as estações de trabalho 3L e 3R são aquelas possuem um número maior de zonas de trabalho, três zonas. Todas as outras estações de trabalho apresentam duas zonas à excepção da estação de trabalho 1L, uma zona.

Com a elaboração dos diagramas de alocação dos processos à zona do produto termina-se a etapa 3.1 do procedimento proposta, a etapa correspondente ao estudo para a introdução de melhorias na linha de montagem. A etapa que se segue, a etapa 3.2 visível na figura 5.9, surge do seguimento da anterior, isto é, após realizado o estudo pode-se, então, identificar os vários pontos de melhoria detectados.

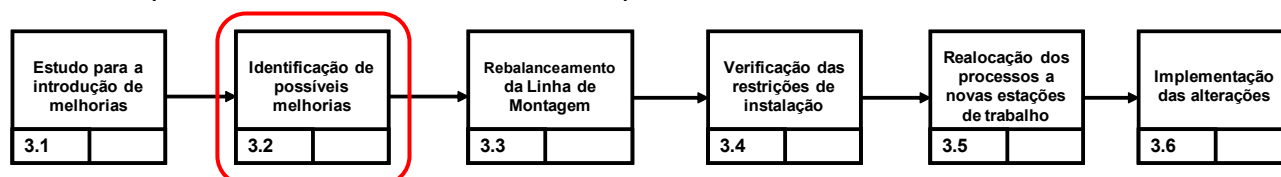


Figura 5.9 Etapa 3.2: Identificação de possíveis melhorias

Desta forma, ao longo de toda a caracterização inicial da linha de montagem, foi possível ir identificando os vários pontos de melhoria detectados, sendo os quais:

- Posicionamento correcto dos operadores nas estações de trabalho;
- Correcta gestão do espaço logístico existente, nomeadamente, na correcta colocação do material nas estações de trabalho;
- Melhoramento do balanceamento existente de forma a equilibrar as cargas nas estações de trabalho e a diminuir o número de zonas do produto a trabalhar;
- Melhoramento das condições existentes para que se possa ajudar a diminuir os deslocamentos efectuados pelos operadores.

Assim, conclui-se a etapa 3.2 do procedimento proposto. A continuação da validação do mesmo efectua-se na secção seguinte uma vez que as restantes etapas do procedimento caracterizam o estado final da linha de montagem.

### 5.2.2 Caracterização do estado final da linha de montagem

Esta secção tem o objectivo de caracterizar o estado final da linha de montagem em análise de forma a que seja possível a introdução das melhorias detectadas anteriormente, assim como, a continuação da validação do procedimento proposto.

Desta forma, esta secção tem início com a etapa 3.3 do procedimento proposto, como se observa na figura 5.10.

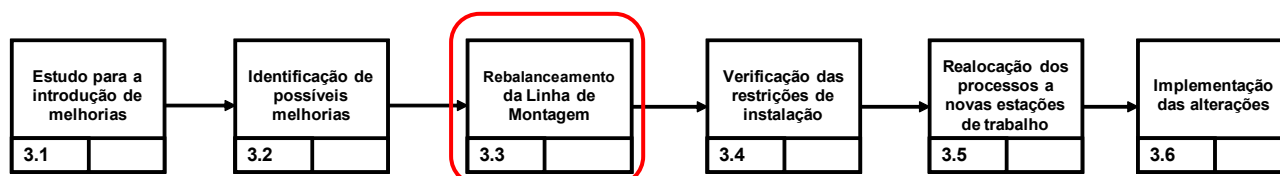


Figura 5.10 Etapa 3.3:Rebalanceamento da linha de montagem

Esta etapa caracteriza-se pelo rebalanceamento da linha de montagem das estações em análise. Para o rebalanceamento da linha de montagem teve-se em conta o diagrama de precedências apresentado na figura 5.6 e as durações de cada um dos processos apresentadas nas tabelas do anexo D: Alocação dos processos à zona do produto, situação inicial.

O gráfico de cargas inicial auxilia, também, o rebalanceamento da linha de montagem uma vez que possibilita a identificação de estações de trabalho acima do

tempo de ciclo existente e o desequilíbrio entre as cargas de ambos os modelos na mesma estação de trabalho. Através deste sabe-se quais as estações que apresentam uma maior necessidade de um realocação dos processos.

Um outro factor, também, tido em conta aquando do rebalanceamento da linha de montagem foi a tentativa de diminuição do número de zonas alocadas em cada uma das estações de trabalho, figura 5.5. Tal como referido anteriormente, quando maior for o número de zonas do produto em que cada um dos operadores trabalha maior são os deslocamentos efectuados pelos mesmos o que origina uma situação que não vai ao encontro das melhorias pretendidas.

Uma outra alternativa utilizada para a diminuição dos deslocamentos são os chamados carros de apoio apresentados na figura 4.14. A inserção de carros de apoio na linha de montagem permite a redução dos deslocamentos efectuados pelos operadores na realização das suas tarefas na medida em que os objectos a montar no produto encontram-se ao seu alcance de forma a que o operador não precise de se deslocar à lateral da linha de montagem para os ir buscar. Desta forma, o rebalanceamento efectuado pretende inserir carros de apoio nas estações de trabalho que possibilitem a sua instalação.

Após, identificados todos os factores que de alguma forma influenciam o balanceamento desta linha de montagem, procede-se ao rebalanceamento da mesma.

Assumindo, o rebalanceamento da linha de montagem a seguir caracterizado, considera-se possível a diminuição de um posto de trabalho, nomeadamente, a estação de trabalho 4F, e a inserção de cinco carros de apoio na linha de montagem nas estações 1L, 3L, 0R, 3R e 1B. As estações 2L e 2R não apresentam as condições necessárias para a implementação dos carros de apoio na medida em que estas estações possuem a instalação de um equipamento.

Desta forma, a tabela 5.5 apresenta a nova descrição dos processos para a estação de trabalho 1L. A descrição dos processos das restantes estação de trabalho encontram-se no anexo E: Descrição dos processos da situação final.

Observando a tabela 5.5 verifica-se que o número de deslocamentos efectuados nesta estação diminuíram uma vez que nesta se procedeu à instalação de um carro de apoio. O carro de apoio possibilitou, assim, a diminuição dos desperdícios existentes nas estações de trabalho.



Tabela 5.5 Descrição do processo final para a estação 1L

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 1L.2	$\alpha$ ; $\beta$	2
2	Prepara objecto 1L.2	$\alpha$ ; $\beta$	11
3	Coloca objecto 1L.2 no carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	4
4	Pega objecto 1L.1, 1L.3, 1L.4	$\alpha$ ; $\beta$	2
5	Pega objecto 1L.5 e 1L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
6	Coloca objecto 1L.1, 1L.6, 1L.3, 1L.4 e 1L.5 no carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	6
7	Pega objecto 2L.2, objecto 2L.3 e ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
8	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
9	Coloca objecto 1L.3, 1L.4 e 1L.5	$\alpha$ ; $\beta$	3
10	Monta objecto 2L.2 e objecto 2L.3	$\alpha$ ; $\beta$	5
11	Desloca-se ao carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	5
12	Pousa ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
13	Pega carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	2
14	Atraca carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	6
15	Efectua operação na frente do produto	$\alpha$ ; $\beta$	12
16	Retira objecto 1L.7 do produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
17	Pega objecto 1L.1 e objecto 1L.6	$\alpha$ ; $\beta$	4
18	Coloca objecto 1L.1 e objecto 1L.6 no produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
19	Pega objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	4
20	Pega ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
21	Monta objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	18
22	Pousa ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
23	Retoma ao produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	4

Tal como se verificou para a caracterização inicial, a descrição do processo possibilita o cálculo das cargas para cada um dos modelos em cada uma das estações, assim como, o cálculo da carga média de cada uma das estações de trabalho. A determinação destes valores efectua-se da mesma forma que anteriormente, ou seja, utilizando as equações 5.1 e 5.2. Assim, a tabela 5.6 apresenta os valores obtidos.

Observando a tabela 5.6 verifica-se que apenas a estação de trabalho 3L apresenta um valor superior a 100%, todos os outros valores são inferiores. Contudo, sabe-se que este valor não apresenta grandes preocupações na medida em que a carga média da estação de trabalho é inferior a 100%. Tal deve-se ao facto de o número de produtos  $\alpha$  a fabricar ser inferior ao número de produtos do modelo  $\beta$ .

Tabela 5.6 Valores de cargas obtidos nas estações de trabalho, fase final

Cargas			
Estação	Carga do modelo		Carga média
	$\alpha$	$\beta$	
1L	98,28%	98,28%	98,28%
2L	93,97%	62,93%	73,28%
3L	108,62%	93,97%	98,85%
0R	99,14%	99,14%	99,14%
1R	80,17%	67,24%	71,55%
3R	97,94%	63,79%	75,00%
1B	99,14%	99,14%	99,14%
4F	0%	0%	0%

A tabela 5.6 permite concluir, também, que apesar da diminuição de uma estação de trabalho conseguiu-se de uma forma geral a diminuição dos valores de cargas obtidos para as restantes estações de trabalho. Isto é, na situação inicial existia três estações de trabalho, a estação 1L, 2L e 0R, que apresentavam valores de carga média superiores a 100% e após o rebalanceamento o mesmo não se verifica. Tal facto deve-se à instalação dos carros de apoio na medida em que estes permitiram reduzir os deslocamentos existentes e, consequentemente, diminuir os desperdícios existentes nas estações de trabalho baixando, assim, a percentagem das cargas obtidas. Este facto pode ser, também, visualizado no digrama de cargas apresentado na figura 5.11.

É de notar que para a construção do gráfico de cargas utilizou-se os princípios descritos na caracterização inicial da linha de montagem.

Analisando a figura 5.11 confirma-se o facto descrito anteriormente, a estação 3L para o modelo  $\alpha$  é a única estação de trabalho que excede o tempo de ciclo. Através da análise do gráfico sabe-se, também, que não existe ainda um equilíbrio total entre as cargas dos modelos para a mesma estação de trabalho. Contudo, constata-se uma melhoria uma vez que a situação inicial apresentava cinco estações, a estação 2L, 3L, 1R, 3R e 4F, e a situação final apenas contém 3, a estação 2L, 3L e 3R.

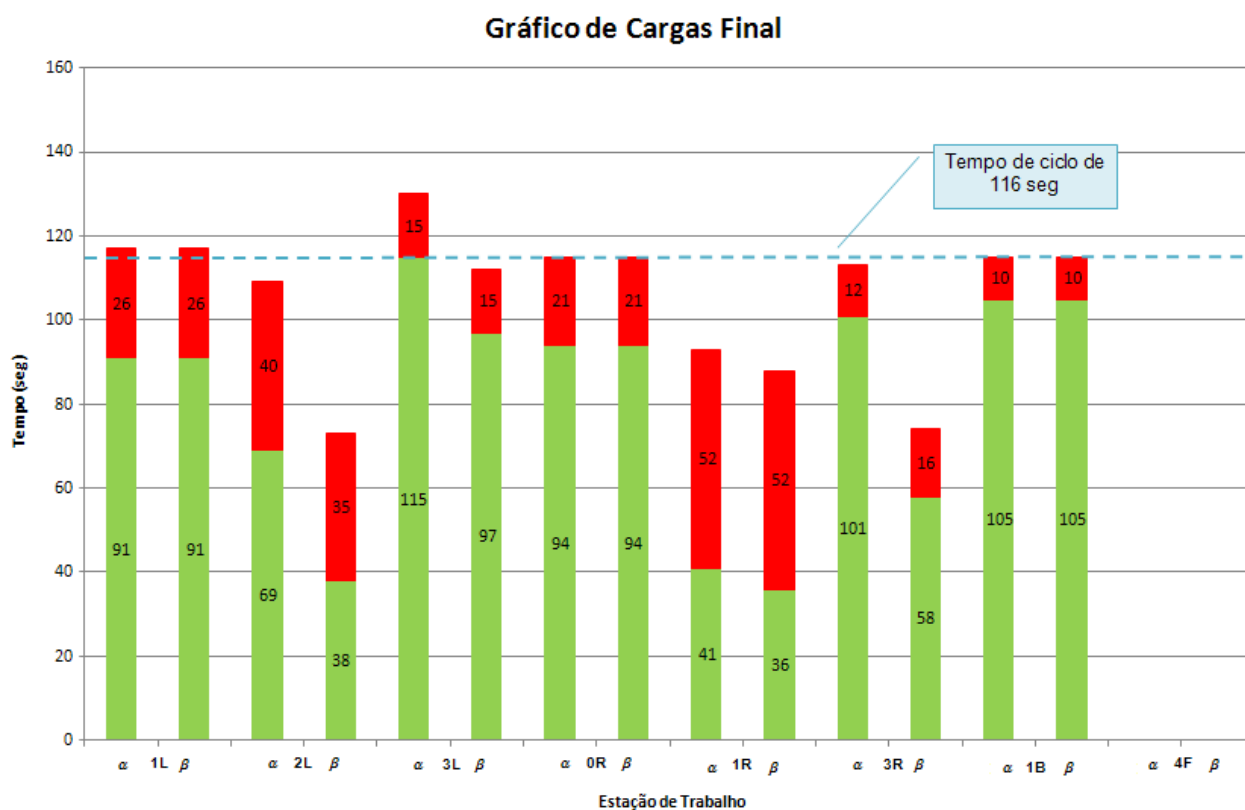


Figura 5.11 Diagrama de carga final

Comparando o diagrama de cargas inicial com o diagrama de cargas final verifica-se que os desperdícios diminuíram substancialmente o que, também, pode ser comprovado pela tabela 5.7.

Tabela 5.7 Redução do valor dos desperdícios

Redução do valor dos Desperdícios (seg)		
Estação	Modelos	
	α	β
1L	8	8
2L	35	26
3L	10	17
0R	29	29
1R	10	10
3R	16	1
1B	14	14

A partir da análise da tabela 5.7 verifica-se que a estação de trabalho 2L e 0R são aquelas que apresentam uma redução maior dos desperdícios existentes na estação de trabalho. Esta redução é na ordem dos 30% para a estação 2L e 25% para a

estação 0R. No entanto, sabe-se, também, que a estação 2L não contém nenhum carro de apoio como tal a redução dos desperdícios aqui não se deve à instalação de um carro de apoio, mas sim, à realocação de alguns processos.

A alocação dos processos à zona do produto consiste num outro factor que se deve em conta aquando do rebalanceamento da linha de montagem. Este factor pode, também, originar a diminuição dos desperdícios. Desta forma, procede-se à locação dos processos segundo o novo balanceamento da linha de montagem. A figura 5.12 apresenta a alocação dos processos para as diferentes estações de trabalho 1L. Salienta-se que a construção deste efectua-se a partir dos diagramas de alocação do produto para cada umas das estações de trabalho que se apresentam no anexo F: Alocação dos processos à zona do produto, situação final.

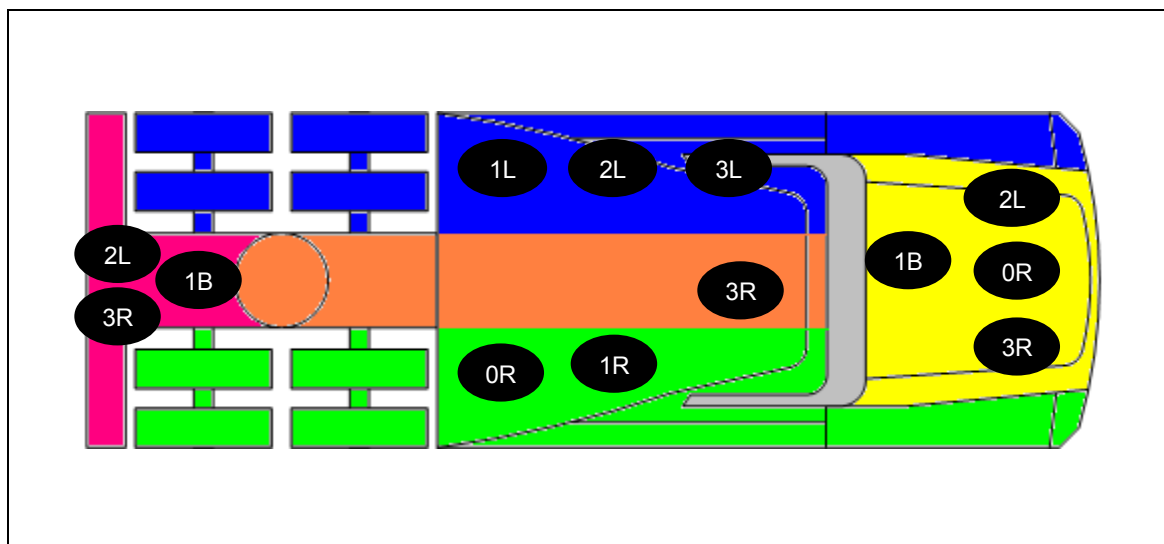


Figura 5.12 Diagrama da alocação dos processos das estações, situação final

Observando a figura 5.12 verifica-se que três estações de trabalho, a estação 1L, 3L e 1R executam operações numa única zona do produto. Todas as outras estações efectuem operações em mais do que uma zona do produto. No entanto, este facto não se considera um grande obstáculo na medida em que os carros de apoio podem auxiliar o desenvolvimento de tarefas em mais do que uma zona do produto permitindo, assim, a diminuição dos deslocamentos sem reduzir o número de zonas.

Desta forma termina-se a etapa do rebalanceamento da linha de montagem iniciando-se, em seguida, a etapa 3.4 relativa à verificação das condições de instalação, figura 5.13.

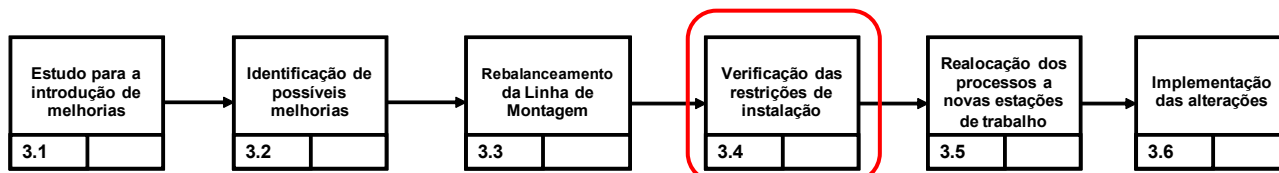


Figura 5.13 Etapa 3.4: Verificação das restrições de instalação

Nesta etapa deve-se verificar as restrições de instalação caracterizadas no capítulo anterior sendo as quais:

- Identidade das estações de trabalho:

Das cinco estações de trabalho em análise verifica-se que a estação 2L e a estação 1R apresentam esta restrição na medida em que estas têm instalado um equipamento. A instalação deste equipamento não permite a realocação desses processos a outras estações de trabalho sem que haja um investimento.

Verificando, assim, esta restrição no rebalanceamento efectuado anteriormente observa-se que os processos relativos a este equipamento estão alocados à estação de trabalho correcta.

- Nível da zona de trabalho:

Esta restrição de instalação não se verifica na medida em que o número de estações de trabalho em análise não é suficiente para que exista uma diferença entre o nível de trabalho.

- Equilíbrio das cargas na estação de trabalho:

Esta restrição já foi verificada na etapa anterior uma vez que esta restrição consistia num ponto de melhoria a inserir no novo balanceamento da linha de montagem.

- Múltiplos operadores:

A linha de montagem em análise é característica desta restrição uma vez que em ambos os lados da linha de montagem existe operadores a executarem as suas tarefas.

Na fase de caracterização da situação inicial da linha de montagem foram detectadas possíveis interferências entre os operadores do lado esquerdo da linha de montagem na medida em que estes executavam as suas tarefas entre duas estações de trabalho podendo, assim, ocasionar a existência de interferências entre estes.

Após o rebalanceamento da linha de montagem o esquema dos operadores na linha apresenta-se na figura 5.14.

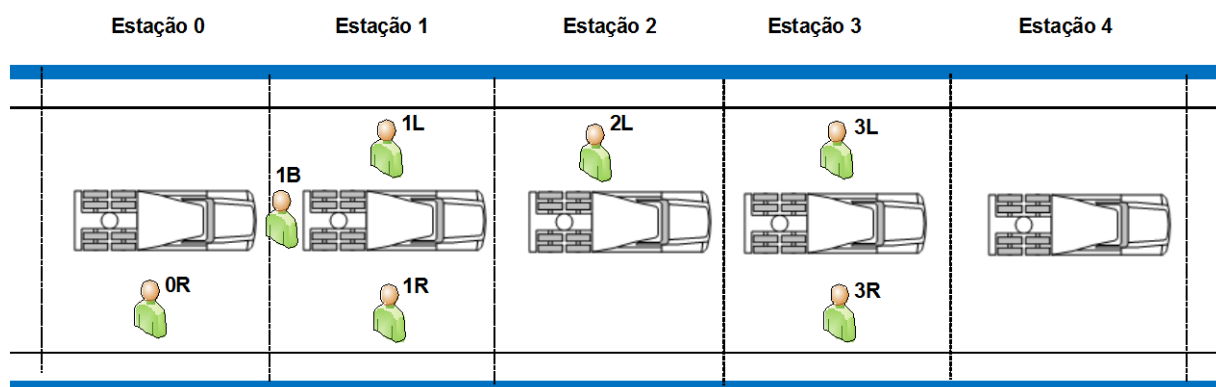


Figura 5.14 Localização dos operadores na fase final

A partir da análise da figura 5.14 sabe-se que todos os operadores estão alocados à estação de trabalho correspondente não se verificando o problema anteriormente detectado.

No entanto, não se constata a sugestão de distribuição dos operadores na linha de montagem descrita no capítulo anterior uma vez que as estações de trabalho em análise não possuem processos de trabalho suficientes para proporcionar o devido distanciamento entre os operadores.

- Operações multi-operadores:

Nas estações de trabalho em análise não existe processos de trabalho que necessitem da sincronização dos operadores.

- Restrições ergonómicas:

Esta restrição de instalação já se verificava antes do rebalanceamento da linha de montagem, isto porque, a existência dos equipamentos na estação 2L e na estação 1R deve-se ao facto de auxiliarem as montagens dos objectos sem provocar posturas incorrectas nos operadores.

- Limitação do espaço físico:

Na caracterização do estado inicial da linha de montagem observou-se que existia uma má gestão do espaço logístico existentes na medida em que a maioria dos objectos se posicionava nas estações de trabalho incorrectas. Assim, para se verificar a execução desta restrição, alocou-se todos os objectos às estações de trabalho correctas, o qual se pode observar na figura 5.15. Nesta figura observa-se, também, a localização dos cinco carros de apoio instalado na linha de montagem.

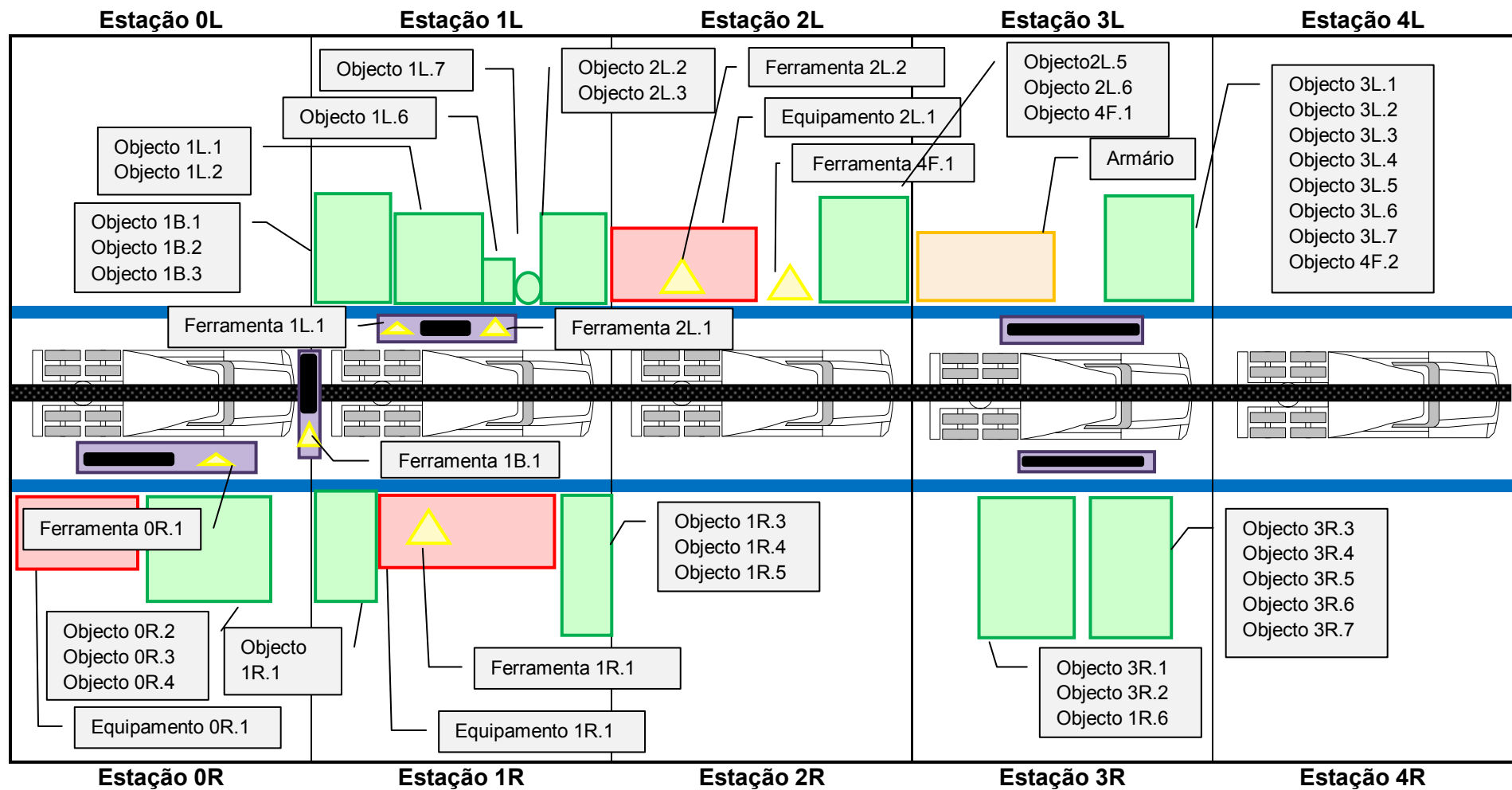


Figura 5.15 Ocupação do espaço logístico, situação final

Desta forma, conclui-se a verificação das restrições de instalação podendo-se, assim, iniciar a etapa seguinte relativa à realocação dos processos a novas estações de trabalho, figura 5.16.

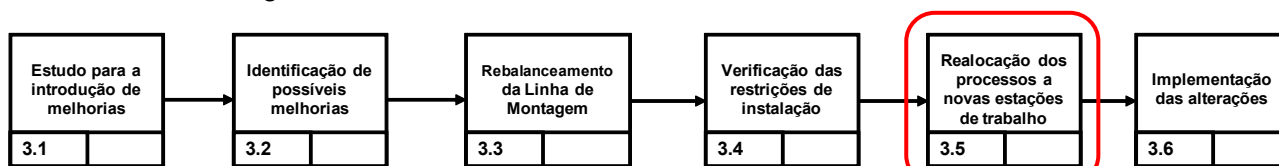


Figura 5.16 Etapa 3.5:Realocação dos processos a novas estações

Como na etapa anterior não se observou o não cumprimento de uma restrição de instalação sendo necessária a realocação do processo pode-se iniciar, então, a última etapa do procedimento, à etapa 3.6, a implementação das alterações, figura 5.17.

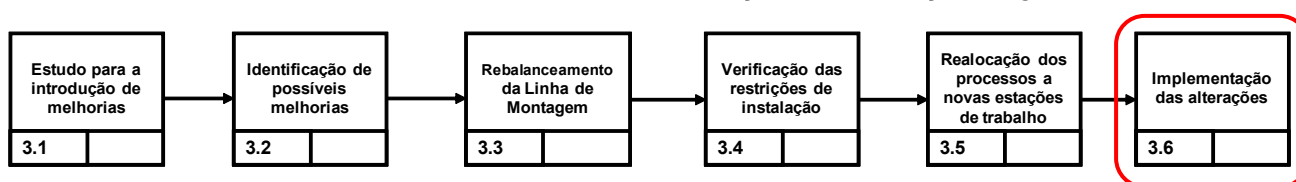


Figura 5.17 Etapa 3.6:Implementação das alterações

Esta etapa visa implementar o rebalanceamento da linha de montagem efectuado na etapa 3.3, assim como, as alterações verificadas na etapa 3.4.

Após concluída a implementação das alterações pode-se redesenhar os diagramas de esparguete de forma a verificar se efectivamente existe ou não a diminuição dos deslocamentos. Desta forma, a figura 5.18 apresenta o diagrama de esparguete para a estação de trabalho 1L sendo que os restantes diagramas de esparguete se encontram no anexo F: Diagrama de esparguete situação final.

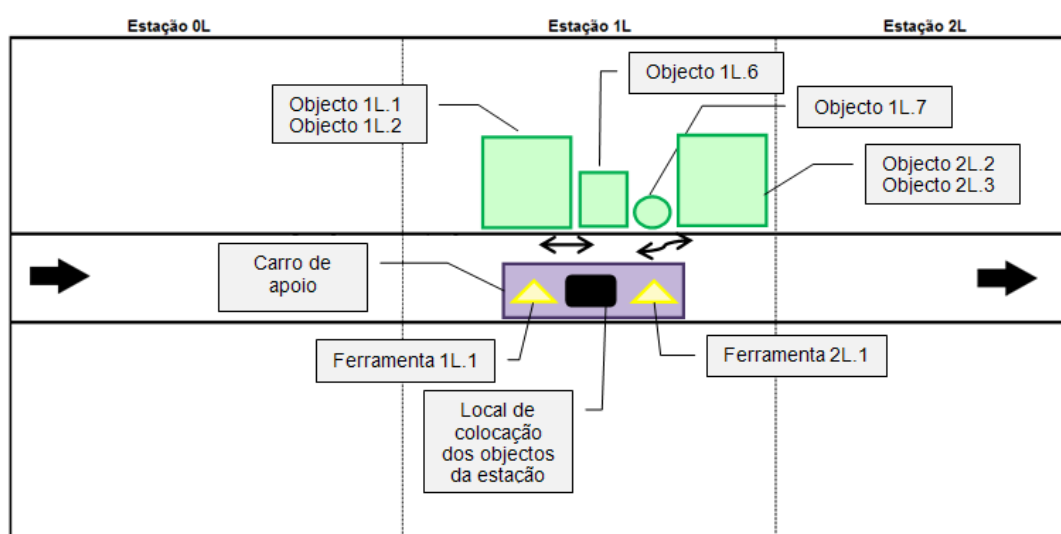


Figura 5.18 Diagrama de esparguete da estação 1L, situação final



Comparando a figura 5.18 com a figura 5.4 (o diagrama de esparguete da estação de trabalho 1L na situação inicial) observa-se que os deslocamentos efectuados na estação de trabalho 1L diminuíram efectivamente devido à instalação de um carro de apoio. Este facto, também, se evidencia nas restantes estações de trabalho.

Conclui-se, assim, que o estudo efectuado para a introdução de alterações na linha de montagem segundo o procedimento proposto obteve resultados positivos. No entanto, não se sabe se a utilização de um algoritmo específico para o estudo do rebalanceamento da linha de montagem pode alcançar melhores resultados.

### 5.2.2.1 Estudo do rebalanceamento da linha de montagem

Esta secção tem o objectivo de estudar uma outra solução para o rebalanceamento da linha de montagem inicial. Neste sentido pretende-se aplicar o algoritmo matemático identificado e descrito no capítulo III desta dissertação de forma a verificar o cumprimento ou não do objectivo proposto para esta secção.

O algoritmo matemático 2-ALBP utilizado para este estudo aplica-se a linhas de montagem mix-modelos com uma configuração que permite a execução de trabalho em ambos os lados da linha de montagem o que vai de encontro às características da linha de montagem em estudo.

Para a aplicação do algoritmo às estações de trabalho em estudo utilizam-se as quatro fases distintas do mesmo, a saber:

- **1ª Fase: Determinação dos dados iniciais:**

Caracteriza-se pela determinação do tempo de ciclo existente na linha de montagem em análise, assim como, o número de modelos que esta linha de montagem fabrica. Assumindo os dados utilizados na secção 5.2.1, o tempo de ciclo tem o valor de 116 segundos e são produzidos apenas dois modelos diferentes de um único produto

- **2ª Fase: Identificação das variáveis de decisão:**

A segunda fase compõe-se pela construção do diagrama de precedência. O diagrama de precedência aqui realizado deve indicar o lado da linha de montagem utilizado para a execução de cada um dos processos em estudo. Este diagrama foi construído para a análise anterior e apresenta-se na figura 5.6 sendo que os tempos

relativos aos processos apresentados neste diagrama encontram-se resumidos na tabela 5.8.

Tabela 5.8 Duração de cada um dos processos

Duração dos Processos (seg)		
Tarefa	Modelo $\alpha$	Modelo $\beta$
1	70	70
2	13	13
3	30	30
4	13	13
5	22	22
6	65	65
7	76	76
8	30	30
9	43	43
10	22	22
11	58	58
12	53	38
13	30	30
14	10	-
15	12	12
16	45	45
17	-	18
18	-	23
19	53	38
20	30	30
21	10	-
22	74	-
23	59	59
24	37	37
25	-	43
26	74	-
27	44	-

- **3ª Fase:** Identificação da função objectivo:

A execução deste algoritmo deverá permitir encontrar a solução que:

- Minimiza os tempos mortos na linha de montagem;
- Maximiza a eficiência da linha de montagem;
- Permite balancear as cargas de trabalho entre as estações de trabalho, assim como, as cargas de trabalho na estação de trabalho.

- **4ª Fase: Identificação das restrições:**

Para esta quarta fase tem-se como principais restrições contemplas pelo algoritmo:

- Cada tarefa apenas pode ser executada numa estação de trabalho;
- Alocação de tarefas a um lado específico da linha de montagem;
- Verificação das precedências dentro da estação de trabalho;
- Sincronismo de processos;
- Definição da ordem de execução dos processos;
- Tempo de ciclo não pode ser excedido;
- Restrições positivas e restrições negativas;
- Restrição do número total de operadores na linha de montagem.

De entre as restrições enumeradas anteriormente algumas não foram tidas em consideração, nomeadamente, o sincronismo de processos e a restrição do número total de operadores.

A restrição relativa à sincronia de processos não foi contemplada na medida em que não existia este facto nas estações de trabalho analisadas.

A restrição do número total de operadores, também, não foi considerada uma vez que se pretendia obter um estudo generalista da melhor realocação dos processos não considerando, assim, o número total de operadores existentes na fase inicial linha de montagem. Pretende-se, desta forma, determinar a possibilidade de optimização das estações de trabalho em análise com a redução de alguma destas.

Após, identificadas todas as restrições, a quarta fase encontra-se finalizada podendo, então, prosseguir-se com a aplicação do algoritmo. Na tabela 5.9 apresentam-se os resultados alcançados.

Observando a tabela 5.9 verifica-se que o algoritmo distribuiu os processos por onze estações de trabalho nas quais cinco apresentam-se do lado esquerdo e seis apresentam-se do lado direito.

Tabela 5.9 Realocação dos processos segundo a aplicação do algoritmo 2-ALBP

Algoritmo 2-ALBP		
Nº Estação de Trabalho	Processos no Lado Esquerdo	Processos do Lado Direito
1	3 e 2	1, 4 e 5
2	7 e 8	6 e 9
3	11, 10 e 20	13, 12, 18 e 14
4	19, 25 e 21	16, 23 e 15
5	26 e 24	17 e 22
6	-	27

Comparando o resultado obtido com a solução obtida pelo procedimento proposto observa-se que o resultado devolvido pelo algoritmo apresenta um maior número de postos de trabalho sendo de três postos de trabalho quando comparado com a situação inicial encontrada na linha de montagem e de quatro postos de trabalho com a situação final caracterizada anteriormente. Com a apresentação deste resultado coloca-se em causa a necessidade ou não de identificar a restrição relativa ao número total de operadores na linha de montagem.

A partir dos dados apresentados na tabela 5.9 pode-se, também, situar fisicamente na linha de montagem a localização de cada um dos operadores uma vez que o resultado obtido refere qual o número da estação de trabalho e o lado onde este se localiza. Desta forma, a figura 5.19 representa esquematicamente a localização de cada um dos operadores nas onze estações de trabalho.

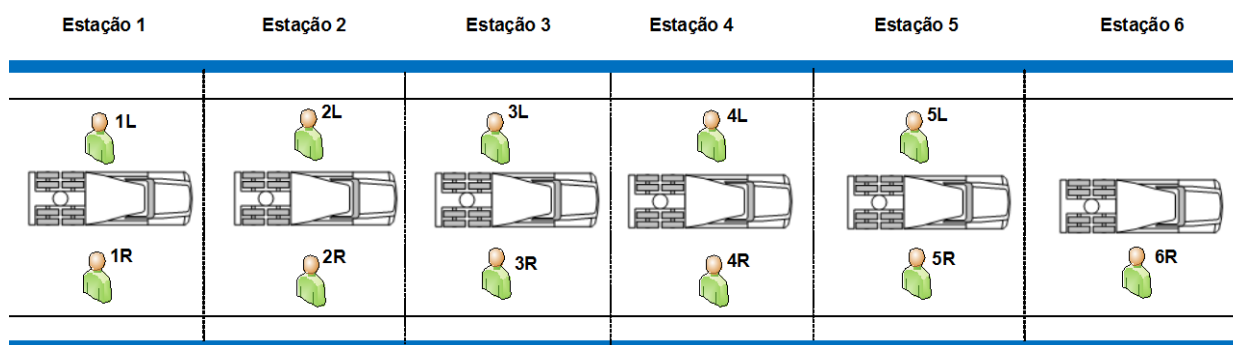


Figura 5.19 Localização dos operadores na solução do 2-ALBP

Analisando, a figura 5.19, detecta-se que a solução encontrada pelo algoritmo apenas distribui os processos pelas laterais da linha de montagem, isto é, pelo lado esquerdo e pelo lado direito não identificando estações de traseira e estações dianteiras. Este facto pode revelar-se um possível ponto de melhoria uma vez que os processos não alocados ao lado esquerdo ou ao lado direito da linha de montagem,

isto é, os processos que podem ser realizados pelos operadores quer da estação do lado direito quer da estação do lado esquerdo, representados no diagrama de precedências com um E; são, na sua maioria, constituídos pelos processos que fisicamente se realizam na traseira do produto ou na frente deste. Se o algoritmo pudesse agregar numa única estação de trabalho os processos que não fossem alocados quer ao lado direito quer ao lado esquerdo da linha de montagem tendo sempre em conta o diagrama de precedências, o resultado obtido poderia ser diferente e em algum dos casos melhorado pela redução.

Dos deslocamentos entre os processos na medida em que estações de trabalho que apresentem processos efectuados do lado direito ou do lado esquerdo da linha de montagem e processos realizados na traseira ou na frente do produto apresentam geralmente trabalho em mais do que uma zona do produto.

Através dos dados contidos na tabela 5.9 pode-se analisar a solução encontrada relativamente a esta situação. Na figura 5.20 apresenta-se o diagrama de alocação de processos à zona de produto por estação de trabalho. O diagrama permite identificar qual o número de zonas do produto em que cada uma das estações de trabalho irá apresentar processos.

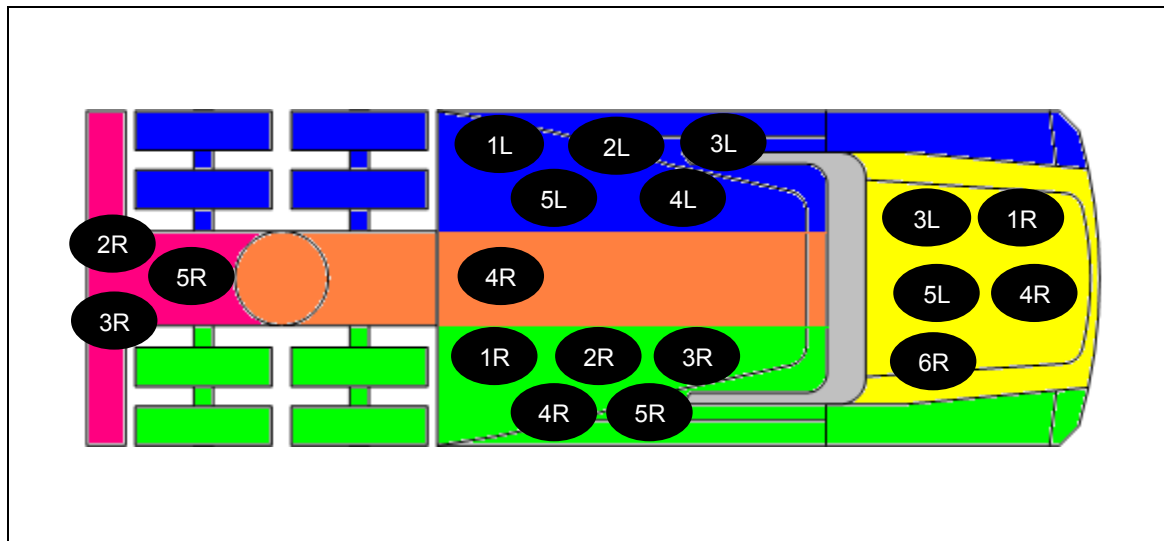


Figura 5.20 Diagrama da alocação das estações pelo 2-ALBP

Observando a figura 5.20 verifica-se que a estação de trabalho 3L, 5L, 1R, 2R, 3R e 5R apresentam duas zonas do produto e a estação de trabalho 4R apresenta três zonas do produto. As estações de trabalho que apenas contêm processos numa zona do produto são as estações 1L, 2L e 6R. Como a maioria das estações de trabalho apresentam processos em mais do que uma zona do produto, isto, pode efectivamente

originar um acréscimo nas deslocações efectuadas entre cada um dos processos uma vez que a deslocação de um processo da lateral para um outro processo na lateral não é igual à deslocação de um processo na lateral para um processo na traseira.

Este facto pode tornar-se bastante relevante uma vez que a determinação da duração de cada um dos processos não tem em consideração o deslocamento efectuado entre a elaboração de um processo e outro processo, isto significa, que a solução encontrada pode vir na prática a ultrapassar o tempo de ciclo considerado.

Neste sentido, seguidamente, apresenta-se o diagrama de cargas de forma a detectar a existência neste caso desta situação.

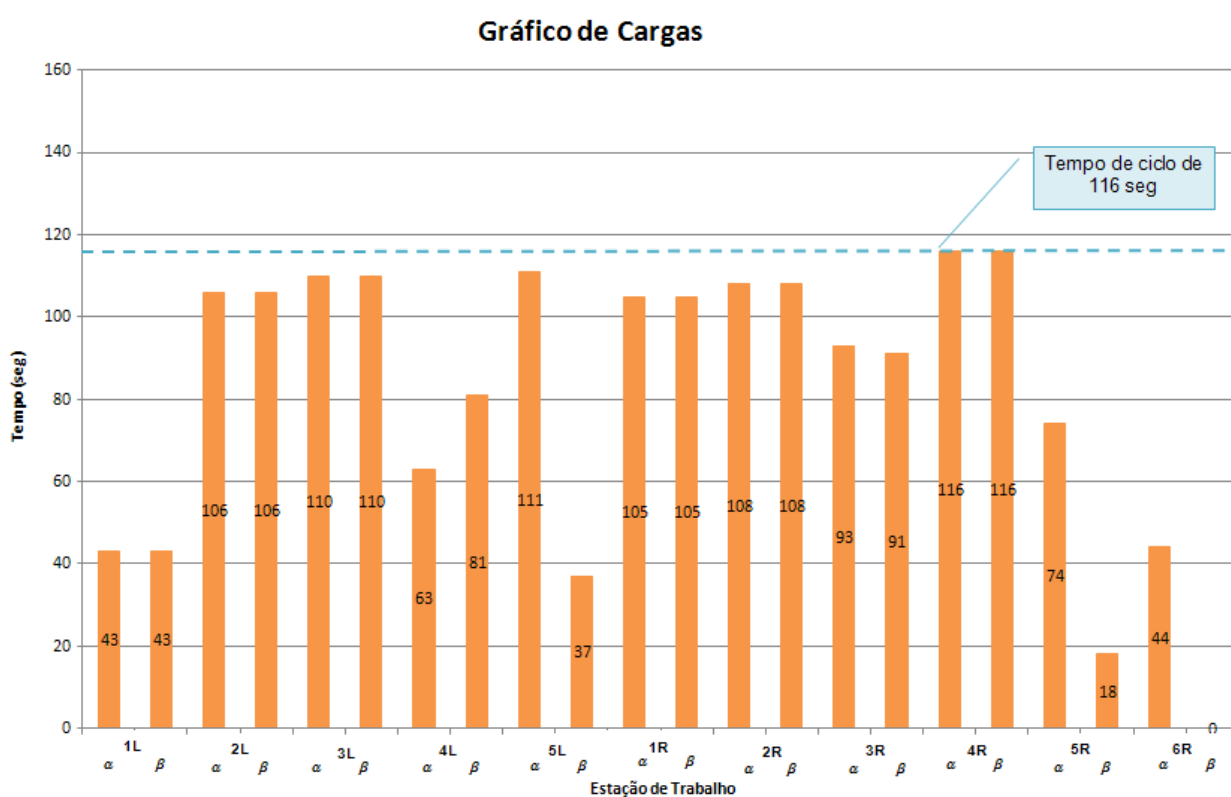


Figura 5.21 Diagrama de carga da solução apresentada pelo algoritmo 2-ALBT

Analisando a figura 5.21 apresentada observa-se que neste caso tal não acontece uma vez que a maioria das estações de trabalho, à excepção da estação de trabalho 4R, apresentam um tempo total inferior ao tempo de ciclo. No entanto, a estação 4R pode vir, eventualmente, a apresentar algum tipo de problema na medida em que esta executa trabalho em três zonas do produto e o seu tempo total é igual ao tempo de ciclo podendo, desta forma, o tempo total de duração dos processos e dos deslocamentos vir a exceder o tempo de ciclo.

Salienta-se que, o gráfico de cargas representado na figura 5.21, não apresenta a configuração dos gráficos de cargas elaborados anteriormente uma vez que a solução devolvida por este algoritmo não identifica os deslocamentos necessários para a execução dos processos em cada uma das estações de trabalho o que não permite a identificação total dos desperdícios em cada uma delas de forma a que, posteriormente, se conseguir elaborar o gráfico de cargas com a distinção entre os desperdícios e as actividades de valor acrescentado, mas tal poderá ser estimado procedendo a uma implementação piloto da solução encontrada.

A partir da figura 5.21 pode-se, também, verificar a eficiência do algoritmo matemático quanto à realocação dos processos de forma a maximizar o equilíbrio entre os modelos nas estações de trabalho e o equilíbrio entre as estações de trabalho.

Neste sentido, e observando a figura 5.21, verifica-se que a solução apresentada contém sete das onze estações de trabalho com valores de carga semelhantes, nomeadamente, as estações de trabalho 1L, 2L, 3L, 1R, 2R, 3R e 4R o que permite, concluir, que o algoritmo verifica-se ser bastante eficiente na realocação dos processos pelas estações de trabalho de forma a conseguir um valor total de execução das operações semelhante entre os dois modelos para uma mesma estação de trabalho. Tal facto não se observa para o equilíbrio entre as estações de trabalho uma vez que o valor de cargas em cada uma das estações de trabalho pode apresentar valores bastante distintos como se comprova com as estações de trabalho 1L e 4R.

Com a informação contida no diagrama de carga apresentado na figura 5.21 pode-se, também, determinar os valores de cargas para cada um dos modelos em cada uma das estações de trabalho, assim como, o valor da carga média para cada uma delas. É de notar que a determinação destes valores teve como base as equações 5.1 e 5.2.

Analisando a tabela 5.10 verifica-se que cinco das estações de trabalho apresentam níveis de cargas na ordem dos 90%, nomeadamente, as estações de trabalho 2L, 3L, 5L, 2R e 4R; enquanto que três estações de trabalho contêm valores abaixo de 50%, nomeadamente, as estações de trabalho 1L, 5R e 6R; e as restantes três estações de trabalho apresentam valores entre os 50% e os 90%, nomeadamente, as estações de trabalho 4L, 5L e 3R.

A partir desta análise detecta-se que algumas das estações de trabalho apresentam valores de cargas bastante baixos pelo que situações como esta não se deveriam verificar. No entanto, estas estações de trabalho contêm uma mais-valia na medida em que estão aptas a receber processos provenientes de outras estações de trabalho que não estejam contemplados neste estudo.

Tabela 5.10 Valores de cargas obtidos nas estações de trabalho para o 2-ALBP

Cargas			
Estação	Carga do modelo		Carga média
	$\alpha$	$\beta$	
1L	37,07%	37,07%	37,07%
2L	91,38%	91,38%	91,38%
3L	94,83%	94,83%	94,83%
4L	54,31%	69,83%	64,66%
5L	95,69%	31,90%	53,16%
1R	90,52%	90,52%	90,52%
2R	93,10%	93,10%	93,10%
3R	80,17%	78,45%	79,02%
4R	100%	100%	100%
5R	63,79%	15,52%	31,61%
6R	37,93%	0%	12,64%

A solução apresentada pelo algoritmo poderia, eventualmente, apresentar uma melhor solução para a linha de montagem em estudo se este pudesse considerar o estudo relativo à ocupação do espaço logístico durante à alocação dos processos nas estações de trabalho. Isto porque, pode casualmente existir algum processo que contenha objectos de grandes dimensões o que leva à diminuição do número de processos a efectuar nessa estação de trabalho uma vez que não existe espaço físico suficiente na estação de trabalho para a recepção de objectos pertencentes a outros processos. No caso em análise, este estudo pode não revelar grande importância uma vez que na solução obtida com o procedimento se verificou que seria possível colocar todo o material logístico necessário em seis estações de trabalho físicas não havendo, assim, probabilidades de em onze estações de trabalho não existir espaço físico suficiente para a colocação de todo o material.

Uma outra mais-valia, também, seria a consideração da restrição relativa ao nível da zona de trabalho, já que, o não cumprimento desta restrição pode levar à existência



de eventuais problemas, um exemplo, verificar-se-ia quando uma determinada estação de trabalho que apresente um nível de trabalho elevado e o processo a efectuar nessa estação de trabalho é no interior do produto o que leva à necessidade de uma nova realocação do processo na linha de montagem uma vez que este processo não se pode efectuar na estação de trabalho alocada. Esta restrição não tem relevância no estudo efectuado na medida em que as estações de trabalho em análise verificam-se sempre no mesmo nível. Contudo, se se pretende-se utilizar este algoritmo para a totalidade da linha de montagem em estudo, este aspecto poderia ocasionar algumas limitações.

Este estudo permite, ainda, verificar que o estudo efectuado com aplicação do algoritmo seleccionado revela que o resultado descrito na secção anterior do trabalho pode apresentar uma melhor solução uma vez que essa solução vai de encontro as necessidades de melhoria identificadas no estudo inicial da linha de montagem. A solução obtida pelo algoritmo apresenta-se com algumas reservas práticas e que podem ser originadas pelo facto da solução obtida possuir um maior número de estações de trabalho.

A tabela 5.11 resume os principais aspectos comparativos entre os resultados obtidos quer com a utilização do procedimento quer com a aplicação do algoritmo.

Tabela 5.11 Resumo comparativo dos resultados

Resumo Comparativo dos Resultados								
	Nº Estações	Nº Operadores	Carga Média					
<b>Resultado Obtido com o Procedimento</b>	4	7	<b>1L</b>	<b>2L</b>	<b>3L</b>	-	-	-
			98,28%	73,28%	98,85%	-	-	-
			<b>0R</b>	<b>1R</b>	<b>3R</b>	<b>1B</b>	-	-
			99,14%	71,55%	75,00%	99,14%	-	-
<b>Resultado Obtido com o Algoritmo 2-ALBP</b>	6	11	<b>1L</b>	<b>2L</b>	<b>3L</b>	<b>4L</b>	<b>5L</b>	-
			37,07%	91,38%	94,83%	64,66%	53,16%	-
			<b>1R</b>	<b>2R</b>	<b>3R</b>	<b>4R</b>	<b>5R</b>	<b>6R</b>
			90,52%	93,10%	79,02%	100%	31,61%	12,64%

Analisando a tabela 5.11 verifica-se que a diferença existente entre o número de estações de trabalho obtidas para ambos os resultados tem o valor de duas estações

de trabalho. Como cada uma das estações de trabalho tem presente entre um a dois operadores, a diferença entre operadores apresenta o valor de quatro.

Observando a tabela 5.11 pode-se, também, comparar os valores das cargas médias de cada uma das estações para ambos os resultados. Desta comparação sabe-se que a solução obtida através do procedimento apresenta valores médios de cargas superiores à solução obtida com a aplicação do algoritmo, tal se deve à diferença do número de estações de trabalho entre os dois resultados.

### 5.3 Destaques do capítulo

O presente capítulo tem como objectivo principal a verificação do procedimento de configuração e balanceamento da linha de montagem mix-modelos enunciado no capítulo anterior. Para esta verificação aplicou-se o mesmo caso real diferentes aproximações. Salienta-se que o teste focou-se ao nível da terceira etapa, balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem. A introdução de melhorias na linha de montagem em estudo visa a melhoria das estações de trabalho em análise de forma a aumentar os níveis de produtividade da indústria.

Para o teste da terceira etapa do procedimento proposto utilizou-se como auxílio o diagrama filho da terceira etapa do procedimento realizado através dos métodos IDEF0 e IDEF3 e que consta na figura 5.1. Este diagrama permitiu identificar de uma forma simplista as várias etapas necessárias para a aplicação do procedimento proposto.

Desta forma, e tal como se visualiza na figura 5.1, iniciou-se a aplicação do procedimento com o estudo da situação inicial encontrada na linha de montagem de forma a identificar os possíveis pontos de melhoria a introduzir dos quais se salienta:

- Posicionamento correcto dos operadores nas estações de trabalho;
- Correcta gestão do espaço logístico existente, nomeadamente, na correcta colocação do material nas estações de trabalho;
- Melhoramento do balanceamento existente de forma a equilibrar as cargas nas estações de trabalho e a diminuir o número de zonas do produto a trabalhar;
- Melhoramento das condições existentes para que se possa ajudar a diminuir os deslocamentos efectuados pelos operadores.

Após identificados os possíveis pontos de melhoria rebalanceou-se a linha de montagem de forma a corrigir os problemas detectados. Ao rebalanceamento verificou-se, também, se as restrições de instalação são ou não consideradas. Como o rebalanceamento não apresentava interferências com as restrições de instalação inicia-se a última etapa do procedimento, a implementação.

Como a implementação do rebalanceamento obteve-se grandes melhorias na linha de montagem em estudo, nomeadamente, na correcção dos problemas detectados anteriormente que originaram o encurtamento das estações de trabalho em análise de 8 postos de trabalho para 7 postos de trabalho. A eliminação de um posto de trabalho deveu-se à redução dos desperdícios existentes em cada um dos postos de trabalho de forma a que estes estão agora aptos a receber novos processos de trabalho que irão substituir os tempos de desperdício existentes anteriormente. A diminuição dos desperdícios levou à realocação de alguns objectos na linha de montagem de forma a estes estarem fisicamente na estação de trabalho a que correspondem, à tentativa da diminuição do número de zonas em que um operador trabalha e à inserção dos carros de apoio para auxiliarem a reposição dos objectos e a montagem dos mesmos.

Com a implementação das novas alterações conseguiu-se não só aumentar os níveis de produtividade na empresa uma vez que um posto de trabalho foi eliminado como, também, se melhorou as condições de trabalho em que os operadores executavam as suas operações. Um outro factor importante refere-se ao facto de que a eliminação do posto de trabalho aqui realizado não implica o despedimento de um colaborador da indústria, este será realocado numa zona de trabalho onde os seus serviços sejam necessários.

Este capítulo apresenta, também, um estudo relativo à aplicação do algoritmo 2-ALBP à linha de montagem de forma a identificar uma outra solução para o caso de estudo apresentado. No final, desta aplicação, pode-se comprar o resultado obtido com esta e a solução apresentada através do procedimento.

A aplicação do algoritmo seleccionado permitiu identificar que a solução descrita inicialmente apresenta um melhor resultado uma vez vai de encontro à resolução dos problemas encontrados inicialmente na linha de montagem. A solução obtida com a aplicação do algoritmo pode não satisfazer necessidades práticas e distribui os processos por um número maior de postos de trabalho, onze postos de trabalho apresentando, assim, mais três postos de trabalho do que a situação encontrada inicialmente na linha de montagem.

Apesar do resultado obtido pela aplicação algorítmica verificar-se ser quantitativamente inferior ao inicialmente descrito, este apresentou-se uma mais-valia para a distribuição dos processos de forma a equilibrar as cargas entre os modelos numa mesma estação de trabalho.

Este estudo revelou, também, que a solução algorítmica pode apresentar algumas limitações na medida em que alguns factores importantes para o balanceamento deste tipo de linha de montagem não foram considerados, de entre os quais se destaca, a não distinção entre os processos realizados na traseira do produto e na dianteira do mesmo, a não identificação do local de execução do processos e a não consideração dos tempos de deslocamento entre os processos.

O estudo revelou, ainda, a possibilidade do algoritmo identificar e considerar dois outros factores importantes no balanceamento deste tipo de linhas de montagem de forma a melhorar o resultado devolvido por este. Estes dois factores relacionam-se com o estudo da ocupação do espaço logístico e o nível da zona de trabalho aquando o balanceamento da linha de montagem.

A consideração de todas estas limitações pode tornar-se uma mais-valia para a eficácia da aplicação do algoritmo seleccionado.

## **Capítulo VI**

### **Conclusões e Considerações Finais**

## Conclusões e considerações finais

O tema abordado por esta dissertação, balanceamento e configuração de linhas de produção flexíveis, deriva da necessidade que as indústrias apresentaram após a evolução do mercado.

Inicialmente, o mercado caracterizava-se pela fabricação em massa de um único produto cujas as suas características eram idênticas de produto para produto. Actualmente, este facto não se verifica uma vez que nos dias de hoje o consumidor tornou-se muito exigente querendo apenas adquirir produtos personalizados a si, ou seja, produtos que possuam as características que estes desejam. Desta forma, as indústrias viram-se obrigadas a renovar os seus sistemas produtivos de forma a conseguirem produzir uma gama variadas de modelos de um mesmo produto, por outras palavras, as indústrias pretendem aumentar a flexibilidade dos seus sistemas produtivos para conseguirem satisfazer os requisitos do cliente actual.

Os sistemas produtivos mais utilizados pelas indústrias para o fabrico dos seus produtos denominam-se como linhas de produção. As linhas de produção caracterizam-se por possuírem diferentes processos produtivos onde o produto a fabricar deve passar para que se torne um produto final. De entre os processos produtivos existentes nas indústrias, as linhas de montagem representam aquele que permite produzir um maior número de produtos sem que para tal ocorra um aumento excessivo dos custos de produção e, assim, satisfazer as necessidades do mercado.

Em conjunto com a evolução do mercado, também, as linhas de montagem se modificaram para conseguir fabricar mais do que um modelo de um mesmo produto e apresentar, assim, um maior nível de flexibilidade. A evolução das linhas de montagem mostrou-se ser significativa uma vez que actualmente existe um grande número de linhas de montagem diferentes. Este número de linhas de montagem deve-se à combinação das várias formas de linhas existentes.

As linhas de montagem podem-se classificar segundo o fluxo de material existente, a diversidade de produtos fabricados e o nível de automação. De entre estas três categorias de linhas de montagens, aquelas que demonstram conseguir responder as necessidades do mercado actual denominam-se como linhas de montagem segundo a diversidade de produtos, já que, como a própria classificação sugere, podem fabricar mais do que um tipo de produtos. No entanto, ainda dentro desta classificação, existem três tipos de linhas de montagem de entre as quais a linha de montagem que

apresenta um maior nível de flexibilidade denomina-se como linha de montagem mix-modelos.

A linha de montagem mix-modelos caracteriza-se por ser uma linha de montagem que consegue fabricar mais do que um tipo de modelo de produto sem que para tal tenha de parar a sua produção para efectuar mudanças de materiais e ferramentas. Nestas condições, verifica-se ser esta a linha de montagem que permite às indústrias satisfazerem as necessidades dos seus consumidores sem que aumentem os seus custos de produção. Os custos de produção são aqui menores uma vez que não existe qualquer tipo de paragem na linha. Estes tempos de paragem correspondem a tempos não produtivos e aos quais a empresa tem certo custos associados.

As linhas de montagem para além de se diferenciarem pela classificação referida anteriormente, estas, também, podem se distinguir segundo a sua configuração. De entre as enumeras formas de configuração que a linha de montagem pode apresentar, a forma que lhe confere um nível de flexibilidade maior denomina-se como linhas de montagem de dois lados. Esta configuração permite que em ambos os lados da linha de montagem se possa posicionar um operador de forma a que seja permitido executar trabalho em ambos os lados da linha. O trabalho, aqui, executado não tem necessariamente de ser idêntico nos dois lados da linha sendo por esta característica que esta configuração de linha de montagem se utiliza para a fabricação de produtos de grandes dimensões, nomeadamente, na indústria automóvel.

O emprego desta configuração de linha neste tipo de industria possibilita a montagem total do produto em um menor número de estações de trabalho uma vez que numa mesma estação de trabalho pode-se encontrar dois postos de trabalho que executam as suas tarefas em zonas diferentes do produto fazendo, assim, a diminuição do espaço que seria necessário utilizar se se apenas opera-se num dos lados da linha de montagem. A diminuição do comprimento da linha de montagem tem subjacente a redução do manuseamento do produto e a redução dos equipamentos e ferramentas necessárias.

Uma outra vantagem da utilização desta configuração de linha de montagem relaciona-se com o facto de com esta linha não ser necessário a viragem do produto uma vez que em ambos os lados da linha de montagem se executa trabalho. Como o produto aqui fabricado possui grandes dimensões a viragem deste tipo de produtos seria bastante complexa.

Apesar de todas as vantagens descritas anteriormente, este tipo de configuração de linha apresenta uma limitação, complexidade do balanceamento da linha de montagem, uma vez que ao existir tarefas em ambos os lados da linha de montagem, o diagrama de precedência deverá indicar em qual dos lados é que essa tarefa deverá ser realizada, isto, porque, existe tarefas que só puderam ser realizados num dos lados da linha de montagem.

A existência de operadores em ambos os lados da linha de montagem pode ocasionar, também, interferências entre operadores as quais deverão ser minimizadas durante o balanceamento da linha de montagem.

Perante todos os factos descritos anteriormente, pode-se, concluir, que a linha de montagem mix-modelos com a configuração de dois lados apresentam um nível de flexibilidade maior permitindo, assim, satisfazer as necessidades do mercado actual.

Desta forma, identificou-se, também, um algoritmo matemático que permitisse o balanceamento deste tipo de linha de montagem com esta configuração de onde apenas se destaca o algoritmo desenvolvido pela Ana Sofia Simaria. Todos os outros estudos efectuados até então destinavam-se a balancear as linhas de montagem com a configuração de dois lados, mas, onde apenas se produz um único produto o que se pode afirmar que para o mercado actual esta situação está de todo desadequada.

Para uma melhor implementação de linhas de montagem mix-modelos com a configuração de dois lados, esta dissertação apresenta uma proposta de procedimento para o balanceamento e configuração deste tipo de linhas de montagem o qual se divide em três grandes etapas sendo elas:

- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* teórico da linha de montagem;
- Elaboração do balanceamento e configuração do *layout* final da linha de montagem;
- Balanceamento e configuração de introdução de melhorias na linha de montagem.

Cada uma destas etapas destina-se a uma fase diferente durante a implementação da linha de montagem, sendo que, a primeira etapa corresponde à etapa do estudo inicial realizado para implementação da linha; a segunda etapa relaciona-se com o facto de durante a execução do estudo inicial para a implementação possa existir alterações relevantes que conduzam a grandes alterações no projecto inicial definido;



a terceira, e última etapa, aplica-se após a instalação da linha, esta etapa procura introduzir melhorias na linha de montagem de forma a aumentar os níveis de produtividade na empresa ou permitir que a linha receba mais e novos modelos a fabricar.

Uma das actividades fundamentais existentes em cada uma destas três etapas relaciona-se com a verificação das restrições de instalação uma vez que estas podem não ser consideradas aquando o balanceamento da linha de montagem e a não consideração destas pode levar à redução da proximidade entre solução óptima e a solução obtida podendo, mesmo, colocar em causa o bem-estar dos operadores.

As restrições de instalação encontradas aquando a instalação desta linha de montagem poderão ser a diversos níveis sendo elas:

- Rebalanceamento da linha de montagem;
- Identidade das estações de trabalho;
- Nível da zona de trabalho;
- Equilíbrio das cargas na estação de trabalho;
- Múltiplos operadores;
- Operações multi-operadores;
- Restrições ergonómicas;
- Limitação do espaço físico.

Cada uma destas restrições acrescenta dificuldade ao balanceamento e configuração da linha de montagem em estudo pelo que devem ser verificadas após o rebalanceamento da linha de montagem. Caso não se verifiquem interferências com estas restrições a implementação da linha poderá ser realizada.

Para a esquematização e caracterização das diferentes etapas do procedimento de configuração rebalanceamento da linha de montagem, incluindo a etapa de verificação das restrições de instalação, utilizou-se os métodos IDEF0 e IDEF3. A utilização destes métodos permitiu esquematizar de uma forma simples as diversas actividades existentes em cada uma das etapas, assim como, visualizar as actividades mais pequenas em que as etapas principais se subdividem.

Para validar o procedimento de configuração e balanceamento de linha de montagem proposto aplicou-se o mesmo a um caso real. No caso real apresentado foca-se ao nível da terceira etapa do procedimento uma vez que a linha de montagem

já existia e apenas se pretendia introduzir melhorias na mesma de forma a aumentar os níveis de produtividade e o bem-estar dos operadores.

Após a aplicação total da terceira etapa do procedimento ao caso em análise verificou-se que este era uma mais-valia na medida em que permitiu de uma forma simples identificar as diferentes actividades necessárias realizar para detectar e introduzir melhorias na linha de montagem em análise.

Com o estudo realizado através deste procedimento, a linha de montagem em análise observou um conjunto de melhorias sendo a mais notória a redução de um posto de trabalho. As restantes melhorias alcançadas devem-se às alterações efectuadas através do balanceamento de forma a concretizar os pontos de melhoria detectados anteriormente.

Um outro estudo efectuado para a linha de montagem em análise consistiu na aplicação do algoritmo 2-ALBP desenvolvido por Simaria (2006).

Com a aplicação deste algoritmo foi possível, posteriormente, comparar o resultado obtido com a utilização deste e o resultado do procedimento aplicado anteriormente no qual se verificou que a solução inicialmente descrita apresenta um melhor resultado para a linha de montagem em estudo na medida em que este resultado não só soluciona os problemas encontrados inicialmente na linha de montagem, como também, apresenta um número de estações de trabalho menor e, conseqüentemente, valores de cargas médias mais elevados.

A solução obtida com a aplicação do algoritmo apenas se foca na distribuição dos processos por estações de trabalho originando desta forma uma solução menos eficaz do que a apresentada inicialmente dado que apresenta onze postos de trabalho quando inicialmente apenas existiam oito postos de trabalho.

No entanto, e apesar deste resultado, verifica-se a eficiência do algoritmo aquando a distribuição de processos pelas estações de trabalho de forma a obter o melhor nível de equilíbrio entre os modelos numa mesma estação de trabalho. Quanto ao equilíbrio entre estações de trabalho a solução obtida apresenta uma eficácia menor na medida em que existe uma grande diferença nas durações totais das actividades nas diferentes estações de trabalho.

Da análise do resultado devolvido por este algoritmo identifica-se, também, algumas situações que na eventualidade de serem consideradas poderiam melhorar a solução obtida por este. As situações aqui mencionadas relacionam-se com diversos

factores sendo um dos mais importantes a não contabilização no balanceamento dos tempos de deslocamentos necessários efectuar entre um processo e o processo seguinte. A não contabilização destes tempos pode levar a um balanceamento incorrecto uma vez que a duração total das actividades pode exceder a duração total do tempo de ciclo imposto para as estações de trabalho.

Uma outra situação consiste na distinção entre os processos realizados na frente do produto e na traseira do produto. Esta distinção poderia levar à agregação destes processos numa única estação de trabalho e com isso diminuir os deslocamentos necessários efectuar, por outras palavras, diminuía-se os potenciais desperdícios existentes nas estações de trabalho.

Uma outra mais-valia para este algoritmo seria a possibilidade de considerar o estudo da ocupação do espaço logístico e a identificação do nível da zona de trabalho de cada um dos processos de forma a que, posteriormente, não sejam necessárias novas alterações devido ao não cumprimentos destes requisitos.

Em suma, a presente dissertação possibilitou o estudo dos diversos factores que directa ou indirectamente influenciam o balanceamento e configuração de uma linha de montagem. Permitiu, também, identificar das diferentes tipologias de linhas de montagem existentes a que melhor se adequa as condições do mercado actual, as linhas de montagem mix-modelos com configuração de dois lados. Assim, como, seleccionar, também, um algoritmo aplicado ao estudo deste tipo de linhas de montagem. E, ainda, criou as condições necessárias para testar o procedimento de configuração e balanceamento de linhas de montagem proposto. Posteriormente, aplicou-se o algoritmo descrito e comparou-se com resultado obtido anteriormente.



## Referências



## Referências

Aguiar, G., Peinado, J., & Graeml, A. (2007). Simulações de arranjos físicos por produto e balanceamento de linha de produção: o estudo de um caso real no ensino para estudantes de engenharia. *XXXV Congresso Brasileiro de Educação de Engenharia*. Conbenge.

*Automotive Industry*. (1 de Junho de 2008). Obtido em 22 de Agosto de 2009, de Injury Hotspots: [http://www.pief.com.au/pief/hotspots/automotive\\_hotspot.html](http://www.pief.com.au/pief/hotspots/automotive_hotspot.html)

Beach, R., Muhlemann, A., Price, D., Paterson, A., & Sharp, J. (2000). A review of manufacturing flexibility. *European Journal of Operation Research* , Vol 122, 41-57.

Becker, C., & Scholl, A. (2003). *A survey on pproblems and methods in general assembly line balancing*. Jenaer Schriften Zur Wisfschaftwissenschaft, FSU - Jena.

Betancourt, L. C. (2007). *ASALBP: the Alternative Subgraphs Assembly Line*. Doctorial Program: Advanced Automation and Robotic, Tecnical University of Catalonic, Institute of Industrial and Control Engineering, Catalonic.

Boone, C., Craighead, C., & Hanna, J. (2007). Postponement: an evolving supply chain concept. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* , 37, 594-611.

Boysen, N., Fliendner, M., & Scholl, A. (2007). Assembly line balancing: Joint precedence graphs under high product variety. *IIE Transactions* , Vol 41, 183-193.

Cabeças, J. M. (2005). *Os componentes de uma linha de montagem*. Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial.

Camarotto, J. (1998). *Estudo das relações entre o projecto industrial a gestão da produção*. Tese para obtenção de Grau de Doctor, Faculdade de Arquitectura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Carravilla, M. A. (1998). *Layouts e Balanceamento de Linhas*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Coronado, Lyons, Kehoe, & Coleman. (2004). Enabling mass customization: extending. In *Production Planning & Control* (pp. 398-411). Taylor & Francis.

- Diniz, M. E. (2005). Um modelo de apoio à tomada de decisão para solução do problema de balanceamento de uma linha de montagem: Estudo de caso em uma manufatura electrónica. Belo Horizonte, Brasil.
- Dorador, J., & Young, R. (2000). Application of IDEF0, IDEF3 and UML methodologies in the creation of information models. *International Journal Computer Integrated Manufacturing* , Vol 13, 430-445.
- Erel, E., & Gokcen, H. (1999). Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem . *European Journal of Operational Research* , Vol 116, 194-204.
- Falkenauer, E. (2005). Line Balancing in the real World. *International Conference on Product Lifecycle Management*. Inderscience Enterprises.
- Francis, M., & White. (1992). *Facility Layout and Location*. W.J. Fabrycky and J.H. Mize, editors.
- Garcia-Diaz, A., & Smith, J. M. (2007). *Facilities Planning and Design*. Pearson International Edition.
- Gerhardt, M. P. (2005). *Sistemática para aplicação de procedimentos de Balanceamento e Linhas de Montagem Multi-Modelos*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto, Alegre.
- Gokçen, H., & Baykoç, F. (1999). A new line remedial policy fot the paced lines with stochastic task times. *International Journal of Production Economics* , 58, 191-197.
- Gonçalves, J. F., & Almeida, J. R. (2002). A hybrid genetic algorithm for assembly line balancing. *Journal of Heuristics* , Vol 8, 629-642.
- Groover, M. P. (1980). *Automation, Production System, and Computer-aided Manufacturing*. Estados Unidos: Prentice Hall.
- He, D., & Babayar, A. (2002). Scheduling manufacturing systems for delayed product differentiation in. *International Journal of Production Research* , 40, 2461-2481.
- Heilala, J., & Voho, P. (2001). Modular reconfigurable flexible final assembly systems. *Journal Assemble Automation* , vol 21, 20-30.

*Honda Unveils Experimental Walking Assist Device With Bodyweight Support System.* (7 de Novembro de 2008). Obtido em 24 de Agosto de 2009, de Honda: <http://world.honda.com/news/2008/c081107Walking-Assist-Device/>

Kim, Y. K., Kim, Y., & Kim, Y. J. (2000). Two-sided assembly line balancing: a genetic algoritmo approach. *Production Planning & Control* , Vol 11, 44-53.

Lee, K., Jeong, H., Park, C., & Park, J. (3 de Dezembro de 2003). Construction and performance analysis of a Petri net model based on a function model in a CIM system. *Internation Journal Advance Manufacturing Techonologic* , 139-147.

Lee, Q. (2000). How to balance a manufacturing work cell. *IE Solutions Conference* (pp. 21-23). Cleveland Ohio: Institute of Industrial Engineers.

Lee, T. O., Kim, Y., & Kim, Y. K. (2001). Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness. *Computers & Industrial Engineering* , vol 40, 237-292.

Liker, J. (2005). *O Modelo Toyota, 14 Principios de Gestão do maior fabricante do mundo.* Bookman.

Malakooti, B. (1994). Assembly line balancing with buffers by multiple criteria optimization. *International Journal of Production Research* , Vol 32, 2159-2178.

Mayer, R., Menzel, C., Painter, M., Witte, P., Blinn, T., & Perakath, B. (1995). *Information Integration for Concurrent Engineering IDEF3 Process Description Capture Method Report.* University Drive East, Incorporated Knowledge Based Systems, Texas.

Muther, R. (1955). *Practical Plant Layout.* (1. Edição, Ed.) McGraw-Hill Book Company.

Mykolayczky, J. L., & Júnior, J. T. *IDEF0 - Método de Representação de Processos em Forma de Fluxo.* Artigo, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Núcleo de Pesquisa em Engenharia Simultânea.

Noh, S., Park, Y., Kong, S., Han, Y., Kim, G., & Lee, K. (2005). Concurrent and collaborative process planning for automotive general assembly. *International Journal of Advance Manufacturing Techonology* , Vol 26, 572-584.

Phillips, E. (1997). *Manufacturing Plant Layout Fundamentals and fine points of optimm facility design.* Society of Manufacturing Engineers.

- Rekiek, B., Dolgui, A., & Delchambre, A. (2002). State of art of optimization methods for assembly line design . *Annual Reviews in Control* , Vol 26, 163-174.
- Rekiek, B., Lit, P., & Dechambre, A. (2000). Designing mixed-product assembly lines. *Transactions on Robotics and Automation* , Vol 16, 268-280.
- Roldão, V., & Ribeiro, J. (2004). *Organização da Produção e das Operações: da concepção do produto à organização do trabalho*. Monitor.
- Roy, R., & Allchurch, M. (1996). Development of a knowledge-based system for balancing complex mixed model assembly line. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* , vol.9, 205-216.
- Sá, M. Z., Vilarinho, P., & Simaria, A. S. (2009). Meeting demand variation using flexible U-shaped assembly lines. *International Journal of Production Research* , Vol 47, 3937-3955.
- Schimokawa, K., Jurgens, U., & Fujimoto, T. (1997). *Transforming Automobile Assembly*. Alemanha: Springer.
- Scholl, A., & Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* , Vol 168, 666-693.
- Scholl, A., & Vob, S. (1996). Simple Assembly Line Balancing-Heuristic. *Journal of Heuristics* , Vol 2, 217-244.
- Simaria, A. S. (2006). *Assembly Line Balancing: New perspectives and procedure*. Tese de Douturamento em Engenharia e Gestão Industrial, Universidade de Aveiro, Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Aveiro.
- Su, J., Ferguson, M., & Chang, Y.-L. (2004). Evaluation of postponement structures to accommodate mass customization. *Journal of Operations* , 23, 305-318.
- Tompkins, W., Bozer, Frazelle, Tanchoco, & Trevino. (1996). *Facilities Planning* (Vol. 2ª Edição). John Wiley & Songs, Inc.
- Zhang, Q., Vonderembse, M., & Lim, J.-S. (2003). Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction. *Journal of Operations Management* , Vol 21, 173-191.





**Anexos**



## Anexo A: Ergonomia na Indústria Automóvel

A marca japonesa Honda desenvolveu um dispositivo, designado *Walk Assist Device*, que auxilia a locomoção e a manutenção da postura dos operadores. Este dispositivo assemelha-se a uma perna mecânica com um assento similar ao de uma bicicleta e a base a de um sapato (figura A.1).



Figura A.1 Solução ergonómica *Walk Assist Device*  
(Fonte: <http://world.honda.com/news/2008/c081107Walking-Assist-Device/>)

O dispositivo foi construído com o intuito de prevenir o aparecimento de lesões músculo-esqueléticas e, ainda, auxiliar a reabilitação de indivíduos com limitações motoras. Este dispositivo funciona como suporte de cargas exercidas sobre os membros inferiores, em situação de trabalho associadas a posturas com exigências mais elevadas, sobretudo aqueles que incluem movimentos de flexão repetitivos. Um exemplo é aquele que se apresenta na figura A.2.



Figura A.2 Aplicação do *Walk Assist Device* numa linha de montagem  
(Fonte: <http://world.honda.com/news/2008/c081107Walking-Assist-Device/>)

## Anexo B: Diagrama de Esparguete da Situação Inicial

→ **Estação 1L:**

### Linha de Montagem: Produtos $\alpha$ e $\beta$

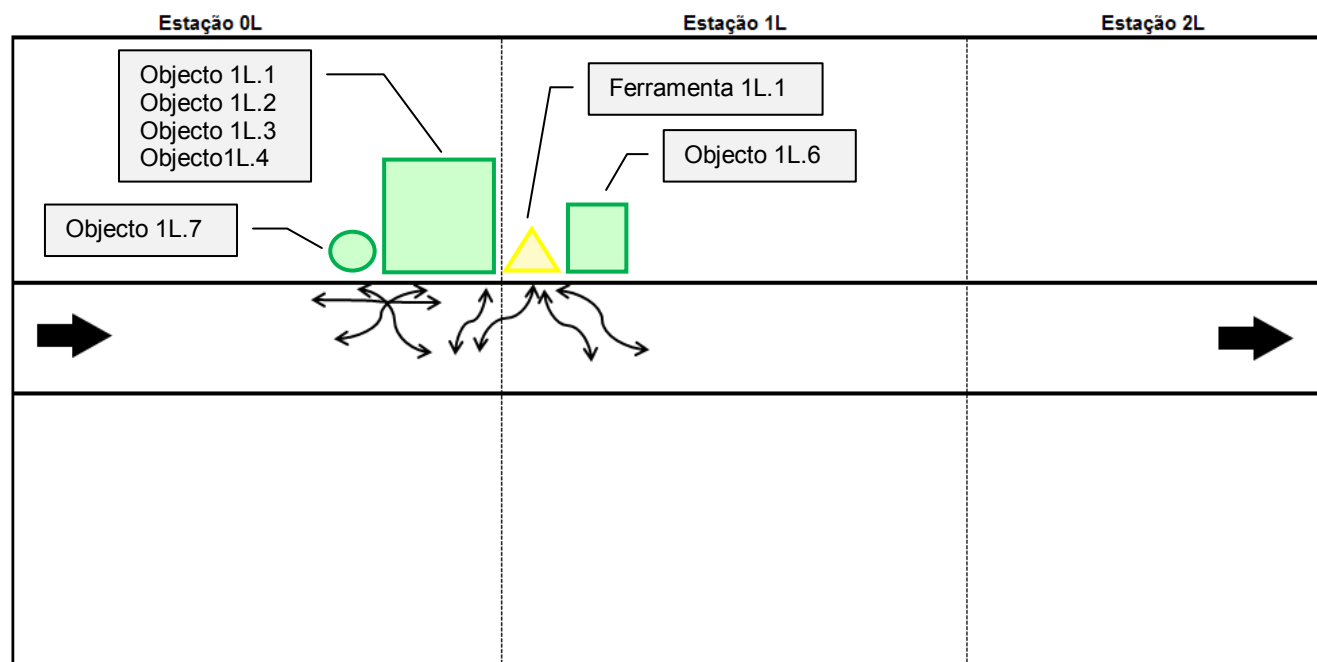


Figura B.1 Diagrama de esparguete da estação 1L, situação inicial

→ Estação 2L:

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

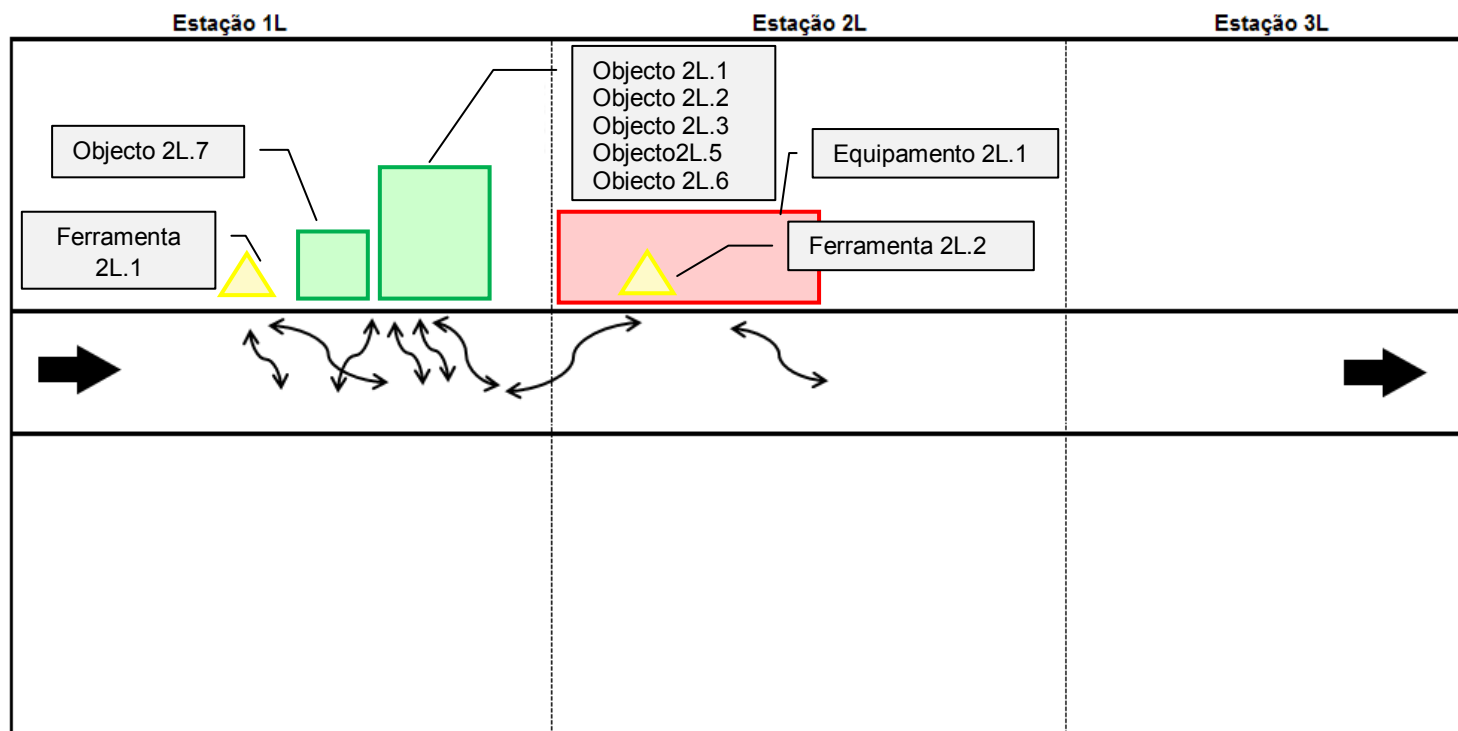


Figura B.2 Diagrama de esparguete da estação 2L, situação inicial

→ Estação 3L:

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

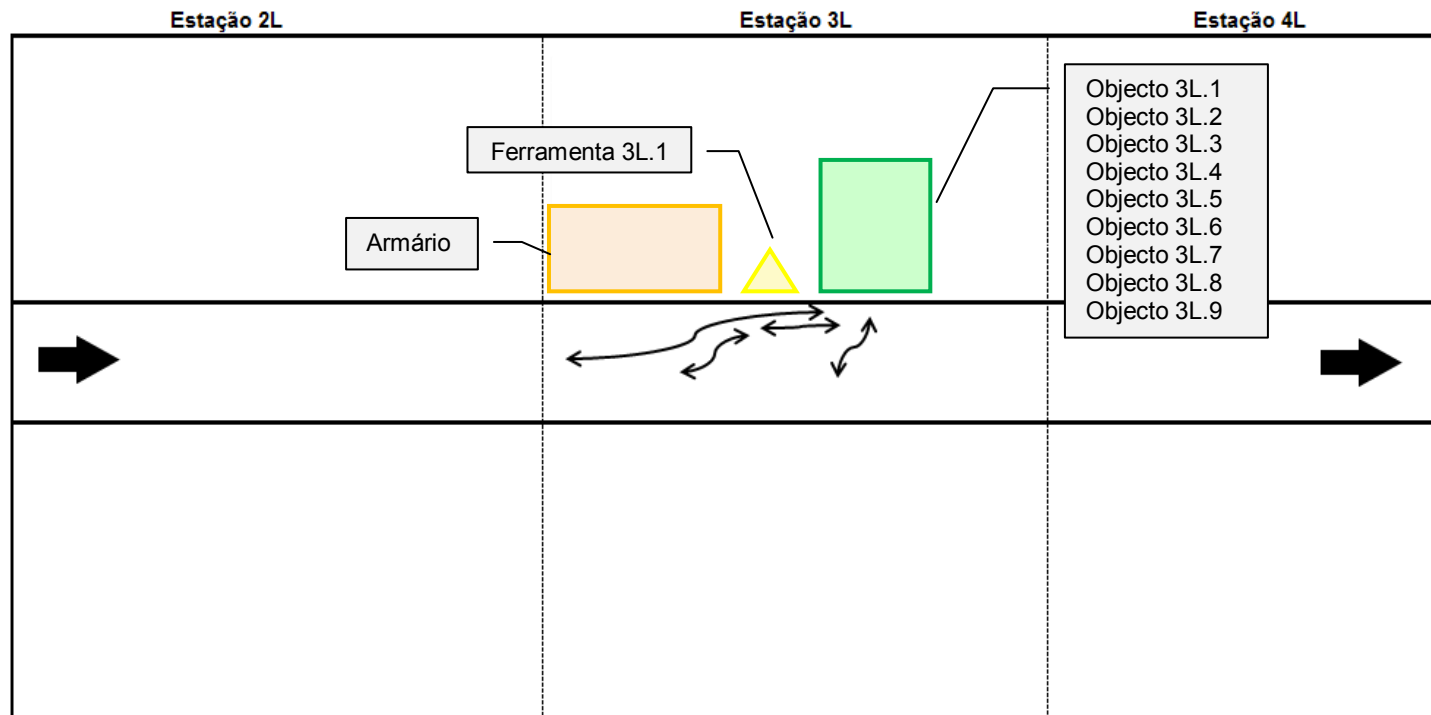


Figura B.3 Diagrama de esparguete da estação 3L, situação inicial

→ **Estação 0R:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

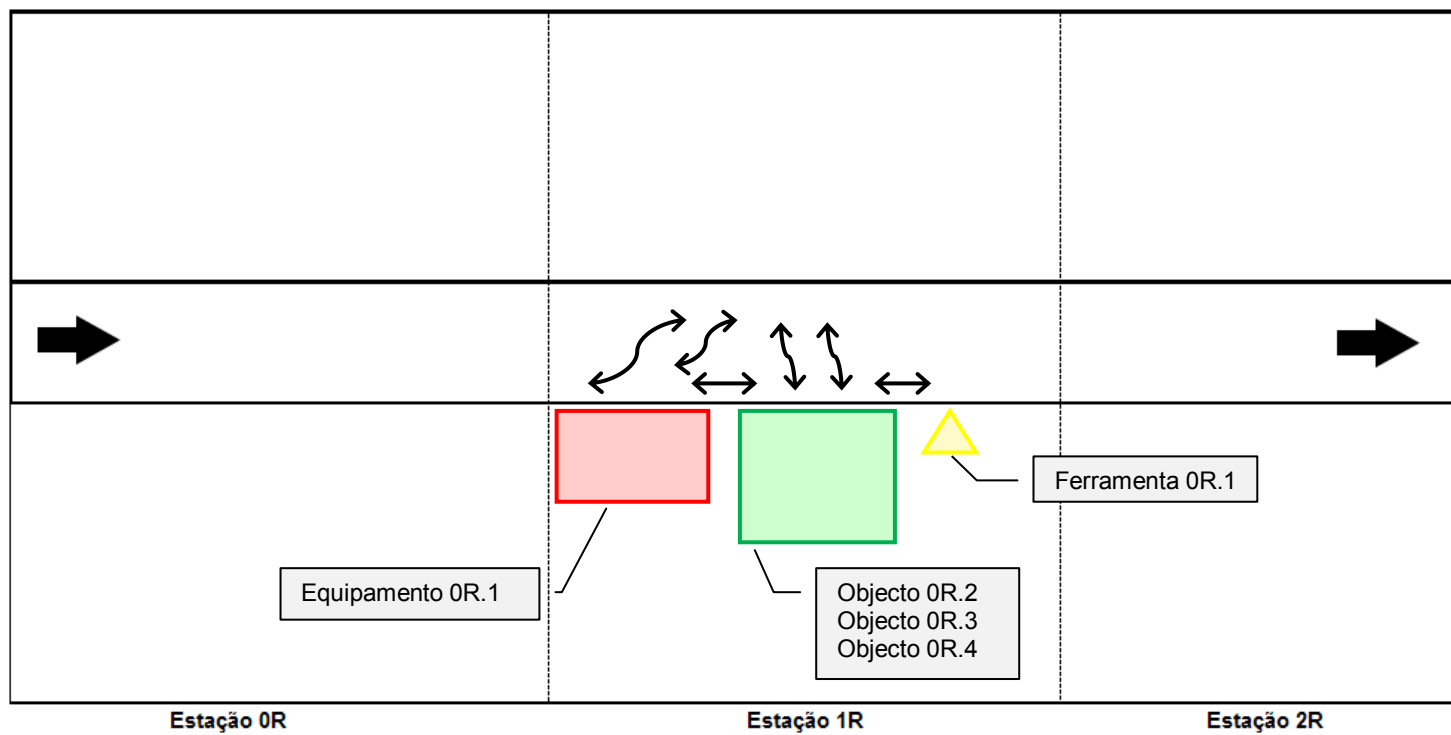


Figura B.4 Diagrama de esparguete da estação 0R, situação inicial

→ **Estação 1R:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

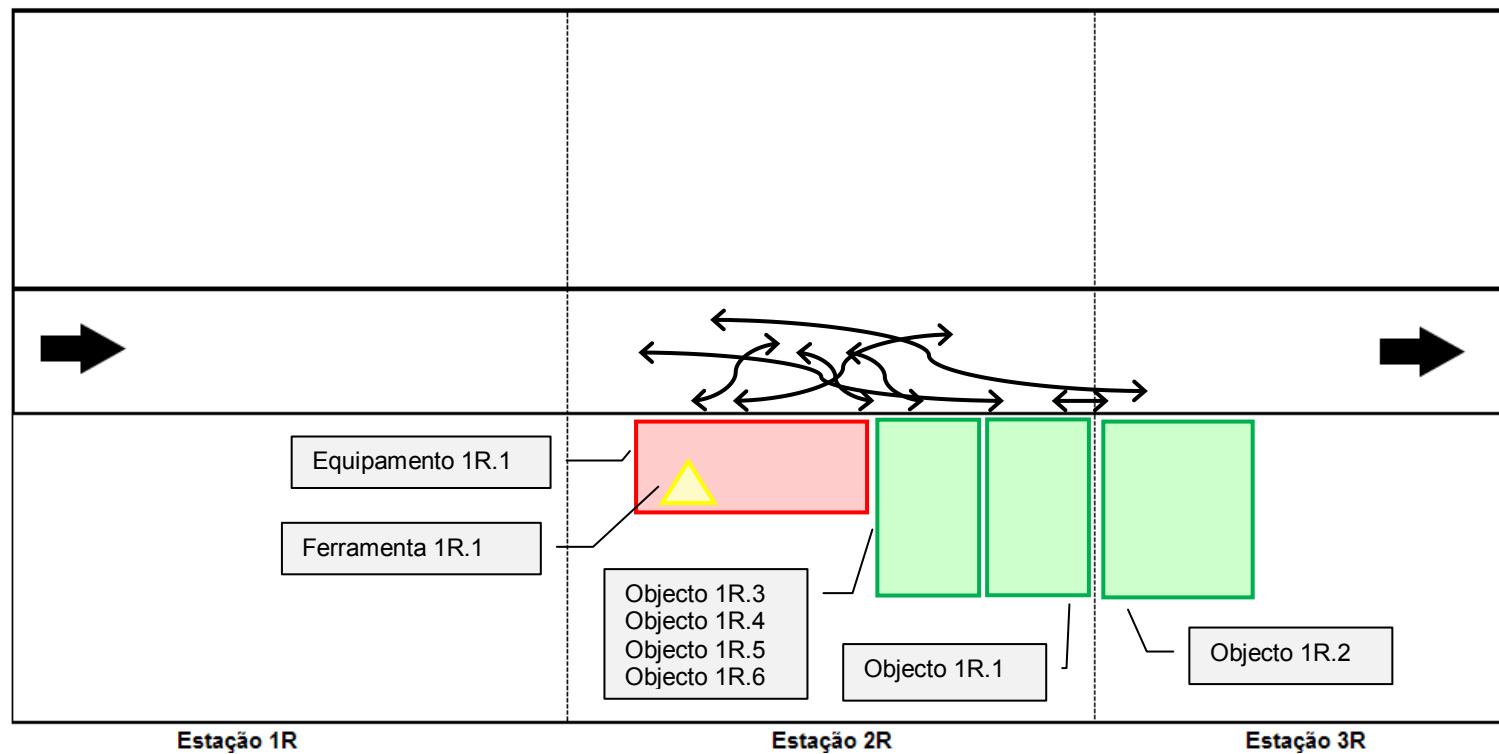


Figura B.5 Diagrama de esparguete da estação 1R, situação inicial

→ **Estação 3R:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

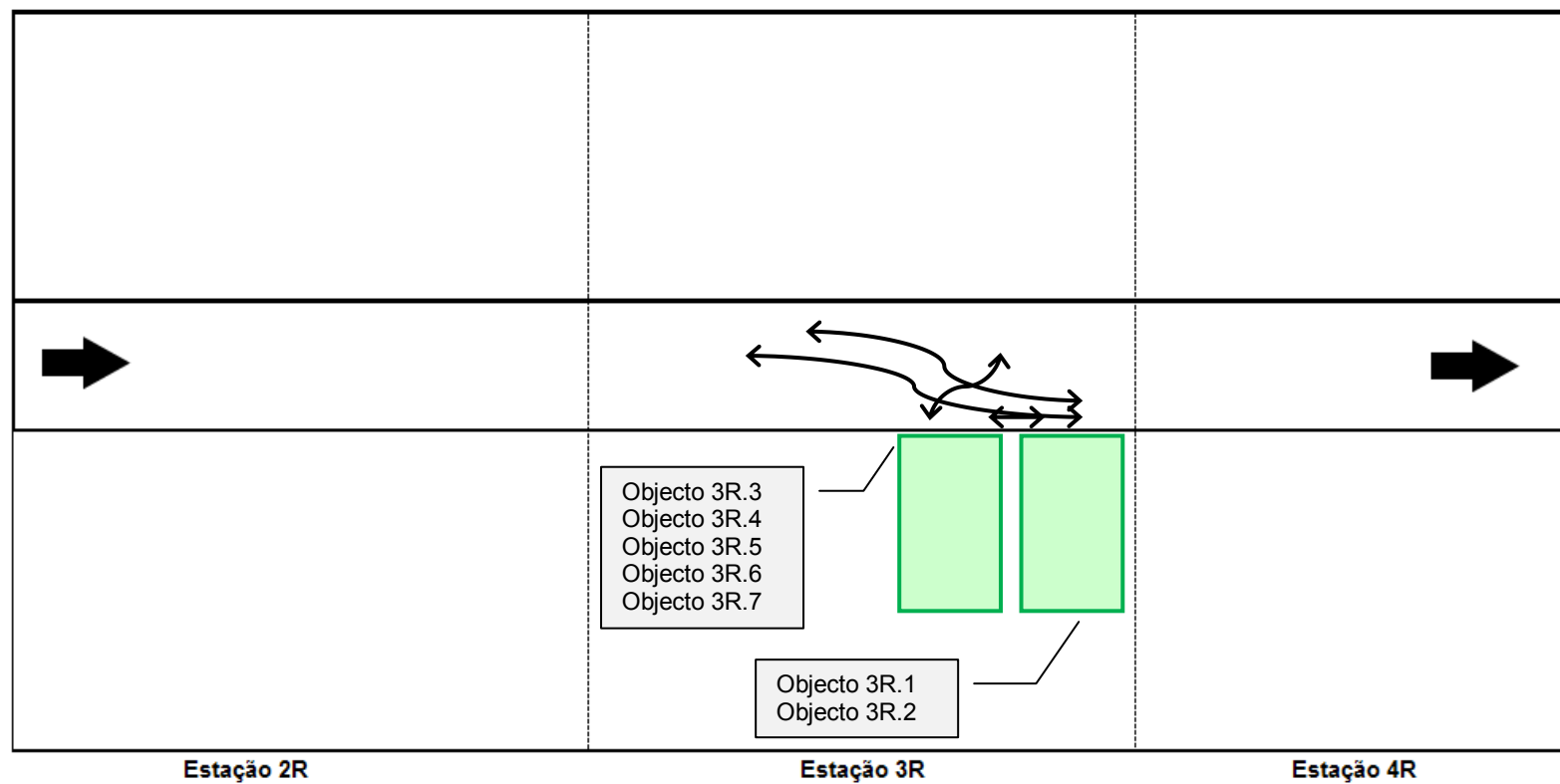


Figura B.6 Diagrama de esparguete da estação 3R, situação inicial



→ **Estação 1B:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

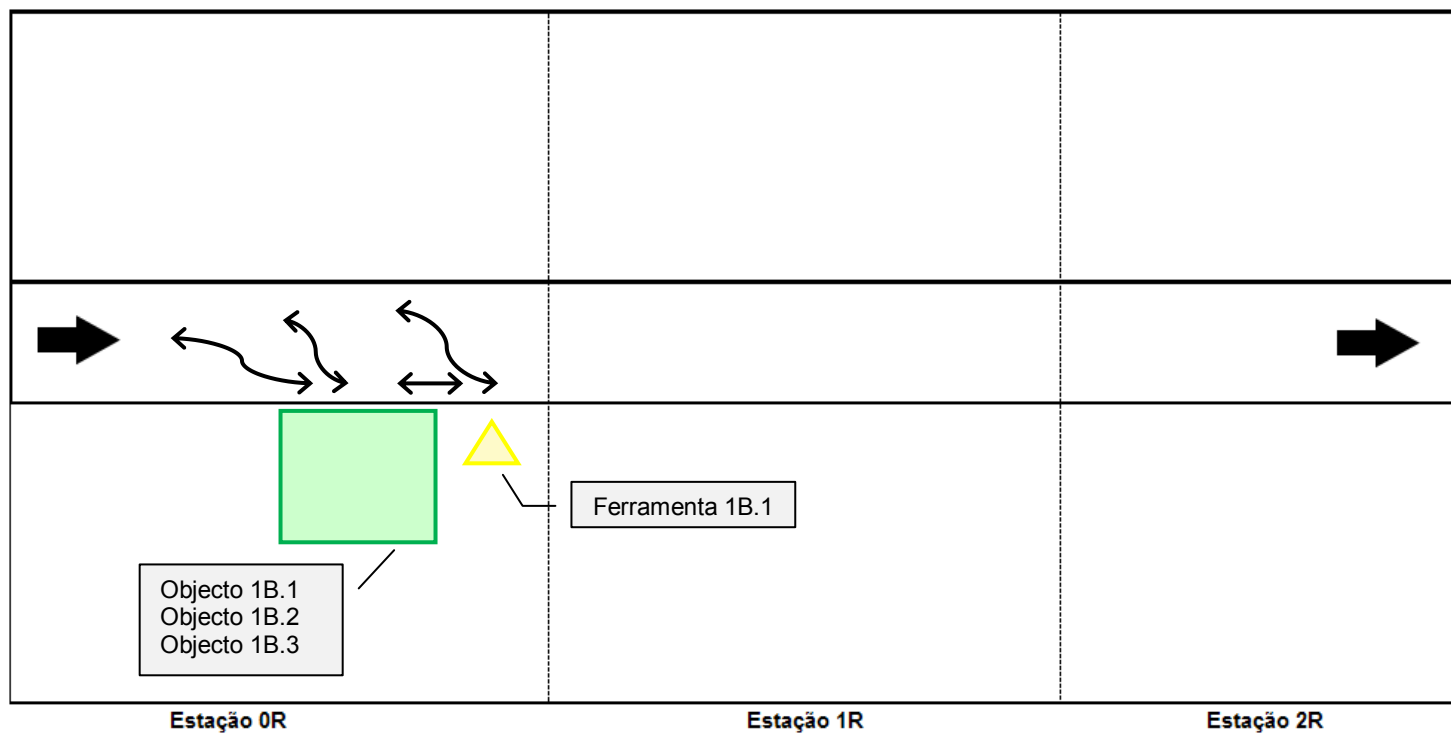


Figura B.7 Diagrama de esparguete da estação 1B, situação inicial

→ Estação 4F:

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

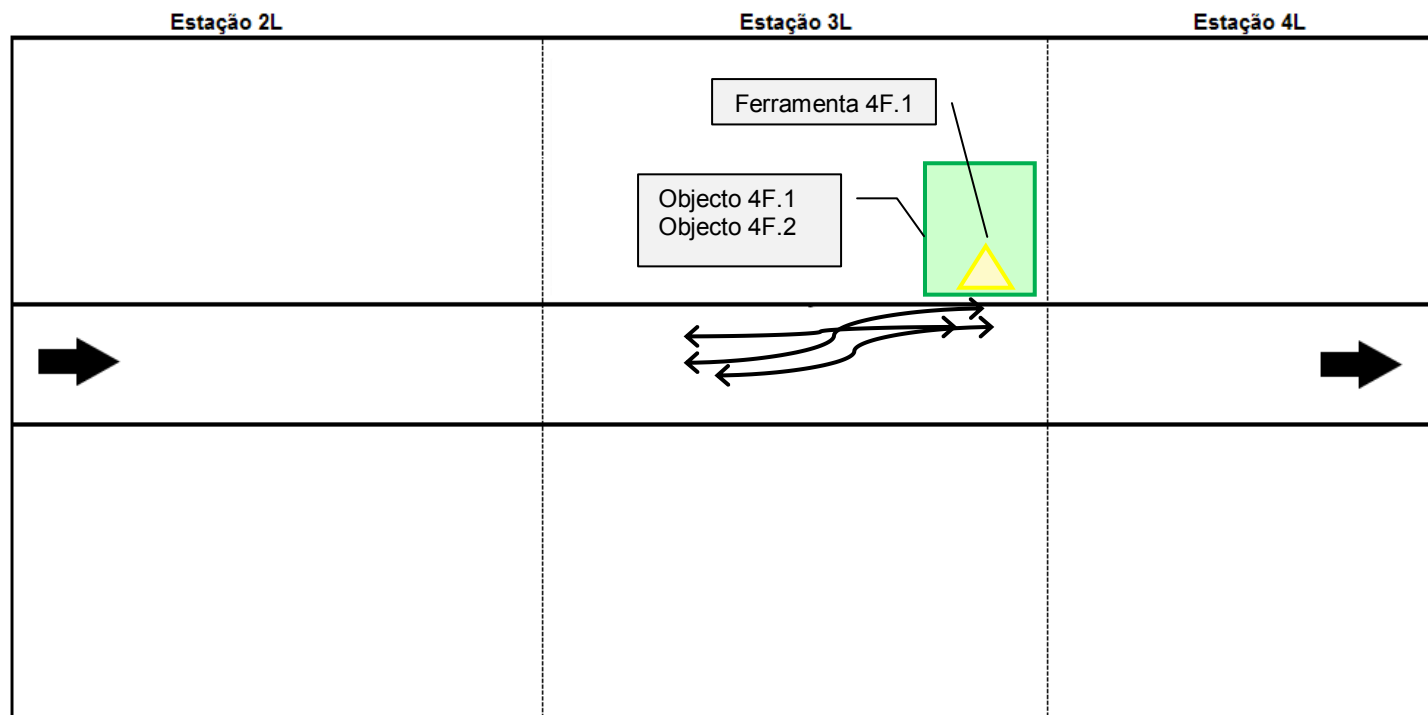


Figura B.8 Diagrama de esparguete da estação 4F, situação inicial

## Anexo C: Descrição do Processo da Situação Inicial

### → Estação 1L:

**Tempo de ciclo (seg): 116**

**Produção de  $\alpha$ : 75**

**Produção de  $\beta$ : 150**

**Produção Total: 225**

Tabela C.1 Descrição do processo inicial para a estação 1L

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
2	Prepara objecto 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	7
3	Pré-montagem do objecto 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	8
4	Pega objecto 1L.2	$\alpha$ ; $\beta$	2
5	Prepara objecto 1L.2	$\alpha$ ; $\beta$	11
6	Retira objecto 1L.3	$\alpha$	3
7	Retira objecto 1L.4	$\beta$	3
8	Pega objecto 1L.5	$\alpha$ ; $\beta$	2
9	Pega objecto 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
10	Pega objecto 1L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
11	Desloca-se para o produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
12	Coloca objecto 1L.1 no produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
13	Coloca objecto 1L.6 no produto	$\alpha$ ; $\beta$	2
14	Retira objecto 1L.7 do produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
15	Desloca-se à lateral e coloca objecto 1L.7	$\alpha$ ; $\beta$	4
16	Pega objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	4
17	Desloca-se para o produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
18	Monta objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	16
19	Desloca-se ao suporte da ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
20	Pega ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
21	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
22	Aperta objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	18
23	Desloca-se ao suporte da ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
24	Pousa ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2

**Carga do modelo  $\alpha$ : 101,72%**

**Carga do modelo  $\beta$ : 101,72%**

**Carga média: 101,72%**

→ **Estação 2L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.2 Descrição do processo inicial para a estação 2L

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
2	Desloca-se para o produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
3	Monta objecto 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	6
4	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	7
5	Pega objecto 2L.2, objecto 2L.3 e ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
6	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
7	Monta objecto 2L.2 e objecto 2L.3	$\alpha$ ; $\beta$	5
8	Desloca-se ao suporte da ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	5
9	Pousa ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
10	Retira objecto 2L.4	$\alpha$ ; $\beta$	4
11	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
12	Monta objecto 2L.4	$\alpha$ ; $\beta$	6
13	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	6
14	Pega objecto 2L.5	$\alpha$	2
15	Desloca-se ao produto	$\alpha$	5
16	Coloca objecto 2L.5	$\alpha$	3
17	Desloca-se à lateral	$\alpha$	5
18	Pega objecto 2L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
19	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
20	Utiliza objecto 2L.6	$\alpha$ ; $\beta$	3
21	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	5
22	Pousa objecto 2L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
23	Desloca-se ao equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
24	Pega equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	1
25	Desloca-se ao produto com o equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	8
26	Pega ferramenta 2L.2 do equipamento 2.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
27	Utiliza ferramenta 2L.2	$\alpha$ ; $\beta$	2
28	Coloca ferramenta no equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
29	Utiliza equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	10
30	Pega equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
31	Desloca o equipamento 2L.1 para a sua zona de repouso	$\alpha$ ; $\beta$	1
32	Pega objecto 2L.7	$\alpha$	2
33	Desloca-se ao produto	$\alpha$	4
34	Monta objecto 2L.7	$\alpha$	4
35	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	3

**Carga do modelo  $\alpha$ : 118,10%**

**Carga do modelo  $\beta$ : 96,55%**

**Carga média: 103,74%**

→ **Estação 3L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.3 Descrição do processo inicial para a estação 3L

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 3L.1 e objecto 3L.2	$\beta$	6
2	Desloca-se ao produto	$\beta$	8
3	Coloca objecto 3L.1	$\beta$	8
4	Monta objecto 3L.2	$\beta$	15
5	Desloca-se à lateral	$\beta$	6
6	Pega caixa dos objectos	$\alpha$	6
7	Desloca-se ao produto	$\alpha$	7
8	Pousa caixa dos objectos	$\alpha$	4
9	Pega objecto 3L.3	$\alpha$	3
10	Monta objecto 3L.3	$\alpha$	9
11	Pega objecto 3L.4	$\alpha$	4
12	Monta objecto 3L.4	$\alpha$	6
13	Pega objecto 3L.5	$\alpha$	2
14	Monta objecto 3L.5	$\alpha$	6
15	Pega objecto 3L.6	$\alpha$	2
16	Monta objecto 3L.6	$\alpha$	7
17	Pega objecto 3L.7	$\alpha$	4
18	Monta objecto 3L.7	$\alpha$	8
19	Desloca-se à lateral com a caixa dos objectos	$\alpha$	6
20	Pega objecto 3L.8, objecto 3L.9 e ferramenta 3L.1	$\alpha$ ; $\beta$	6
21	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
22	Monta objectos 3L.8 e objecto 3L.9	$\alpha$ ; $\beta$	12
23	Utiliza ferramenta 3L.1	$\alpha$ ; $\beta$	5
24	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	6
25	Pousa ferramenta 3L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
26	Desloca-se ao produto	$\beta$	6
27	Monta objecto 3L.10	$\beta$	12

**Carga do modelo  $\alpha$ : 95,69%****Carga do modelo  $\beta$ : 84,48%****Carga média: 88,22%**

→ **Estação 0R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.4 Descrição do processo inicial para a estação 0R

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Desloca-se ao equipamento 0R.1	$\alpha; \beta$	4
2	Retira objecto 0R.1 do equipamento 0R.1	$\alpha; \beta$	6
3	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	4
4	Retira 4 objectos 0R.2	$\alpha; \beta$	10
5	Coloca 2 objectos 0R.2 no objecto 0R.1	$\alpha; \beta$	8
6	Pega 2 objectos 0R.2 e no objecto 0R.1	$\alpha; \beta$	9
7	Desloca-se ao produto	$\alpha; \beta$	4
8	Coloca objecto 0R.1 no produto	$\alpha; \beta$	15
9	Coloca 2 objectos 0R.2 no produto	$\alpha; \beta$	10
10	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	4
11	Pega objecto 0R.3	$\alpha; \beta$	2
12	Prepara objecto 0R.3	$\alpha; \beta$	11
13	Pega objecto 0R.3 e objecto 0R.4	$\alpha; \beta$	4
14	Desloca-se para o produto	$\alpha; \beta$	4
15	Monta objecto 0R.3 e objecto 0R.4	$\alpha; \beta$	16
16	Desloca-se ao suporte da ferramenta 0R.1	$\alpha; \beta$	4
17	Pega ferramenta 0R.1	$\alpha; \beta$	2
18	Desloca-se ao produto	$\alpha; \beta$	4
19	Aperta objecto 0R.3 e objecto 0R.4	$\alpha; \beta$	18
20	Desloca-se ao suporte da ferramenta 0R.1	$\alpha; \beta$	4
21	Pousa ferramenta 0R.1	$\alpha; \beta$	2

**Carga do modelo  $\alpha$ : 108,62%****Carga do modelo  $\beta$ : 108,62%****Carga média: 108,62%**

→ **Estação 1R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.5 Descrição do processo inicial para a estação 1R

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 1R.1	$\alpha; \beta$	3
2	Desloca-se para o produto	$\alpha; \beta$	2
3	Monta objecto 1R.1	$\alpha; \beta$	3
4	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	3
5	Pega objecto 1R.2	$\alpha; \beta$	4
6	Desloca-se ao produto	$\alpha; \beta$	4
7	Monta objecto 1R.2	$\alpha; \beta$	6
8	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	4
9	Pega objecto 1R.3	$\alpha; \beta$	4
10	Desloca-se ao produto	$\alpha; \beta$	5
11	Monta objecto 1R.3	$\alpha; \beta$	6
12	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	6
13	Pega objecto 1R.4	$\alpha$	2
14	Desloca-se ao produto	$\alpha$	5
15	Coloca objecto 1R.4	$\alpha$	3
16	Desloca-se à lateral	$\alpha$	5
17	Pega objecto 1R.5	$\alpha; \beta$	2
18	Desloca-se ao produto	$\alpha; \beta$	5
19	Utiliza objecto 1R.5	$\alpha; \beta$	3
20	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	5
21	Pousa objecto 1R.5	$\alpha; \beta$	2
22	Desloca-se ao equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	2
23	Pega equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	1
24	Desloca-se ao produto com o equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	8
25	Pega ferramenta 1R.1 do equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	2
26	Utiliza ferramenta 1R.1	$\alpha; \beta$	2
27	Coloca ferramenta no equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	2
28	Utiliza equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	10
29	Pega equipamento 1R.1	$\alpha; \beta$	2
30	Desloca o equipamento 1R.1 para a sua zona de repouso	$\alpha; \beta$	1
31	Pega objecto 1R.6	$\alpha$	2
32	Desloca-se ao produto	$\alpha$	4
33	Monta objecto 1R.6	$\alpha$	4
34	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	3



**Carga do modelo  $\alpha$ : 107,76%**

**Carga do modelo  $\beta$ : 86,21%**

**Carga média: 93,39%**

→ **Estação 3R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.6 Descrição do processo inicial para a estação 3R

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 3R.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
2	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	2
3	Monta objecto 3R.1	$\alpha$ ; $\beta$	20
4	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	4
5	Pega objecto 3R.2	$\alpha$ ; $\beta$	4
6	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	3
7	Monta objecto 3R.2	$\alpha$ ; $\beta$	18
8	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	2
9	Pega caixa dos objectos	$\alpha$	6
10	Desloca-se ao produto	$\alpha$	7
11	Pousa caixa dos objectos	$\alpha$	4
12	Pega objecto 3R.3	$\alpha$	3
13	Monta objecto 3R.3	$\alpha$	9
14	Pega objecto 3R.4	$\alpha$	4
15	Monta objecto 3R.4	$\alpha$	6
16	Pega objecto 3R.5	$\alpha$	2
17	Monta objecto 3R.5	$\alpha$	6
18	Pega objecto 3R.6	$\alpha$	2
19	Monta objecto 3R.6	$\alpha$	7
20	Pega objecto 3R.7	$\alpha$	4
21	Monta objecto 3R.7	$\alpha$	8
22	Desloca-se à lateral com a caixa dos objectos	$\alpha$	6
23	Desloca-se ao produto	$\beta$	6
24	Monta objecto 3R.8	$\beta$	12

**Carga do modelo  $\alpha$ : 112,93%****Carga do modelo  $\beta$ : 64,66%****Carga média: 80,85%**

→ **Estação 1B:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.7 Descrição do processo inicial para a estação 1B

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	6
2	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
3	Monta objecto 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	22
4	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	4
5	Pega objecto 1B.2	$\alpha$ ; $\beta$	6
6	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	3
7	Monta objecto 1B.2	$\alpha$ ; $\beta$	20
8	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	4
9	Pega objecto 1B.3	$\alpha$ ; $\beta$	4
10	Pega ferramenta 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	5
11	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
12	Monta objecto 1B.3	$\alpha$ ; $\beta$	24
13	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	5
14	Pousa ferramenta 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	3

**Carga do modelo  $\alpha$ : 98,28%****Carga do modelo  $\beta$ : 98,28%****Carga média: 98,28%**

→ **Estação 4F:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela C.8 Descrição do processo inicial para a estação 4F

Nº Tarefa	Descrição de Operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 4F.1	$\alpha$	4
2	Pega ferramenta 4F.1	$\alpha$	3
3	Desloca-se ao produto	$\alpha$	3
4	Monta objecto 4F.1	$\alpha$	25
5	Desloca-se à lateral	$\alpha$	3
6	Pousa ferramenta 4F.1	$\alpha$	6
7	Pega objecto 4F.2	$\alpha; \beta$	12
8	Desloca-se ao veículo	$\alpha; \beta$	4
9	Aplica objecto 4F.2	$\alpha; \beta$	54
10	Desloca-se à lateral	$\alpha; \beta$	4
11	Pousa objecto 4F.2	$\alpha; \beta$	2

**Carga do modelo  $\alpha$ : 103,45%****Carga do modelo  $\beta$ : 65,52%****Carga média: 78,16%**

## Anexo D: Alocação das tarefas à zona do produto, Situação Inicial

### → Estação 1L:

**Tempo de ciclo (seg):** 116

**Produção de  $\alpha$ :** 75

**Produção de  $\beta$ :** 150

**Produção Total:** 225

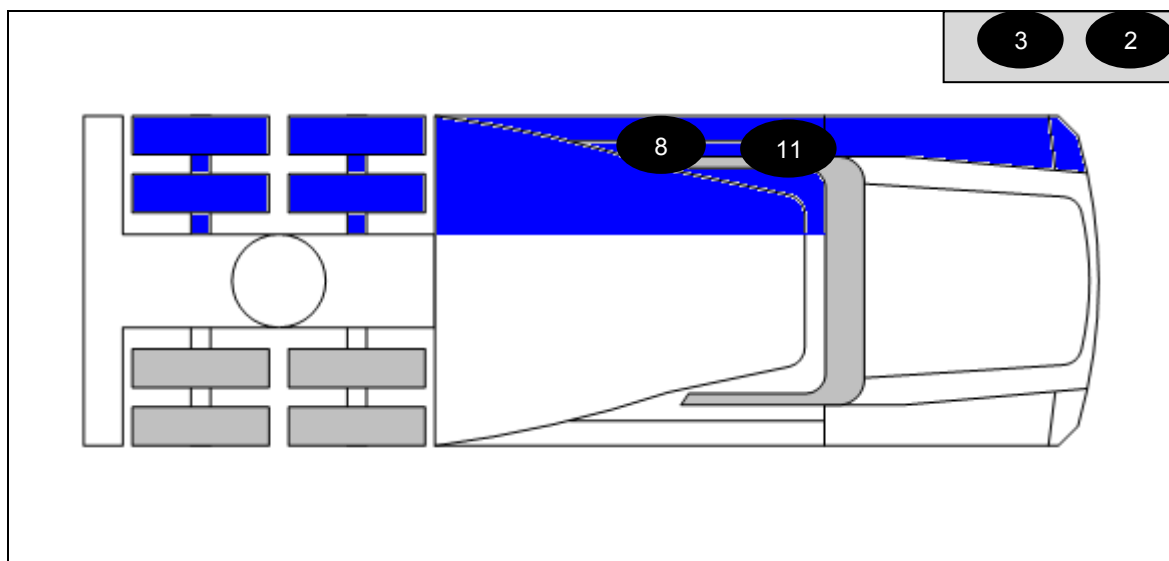


Figura D.1 Diagrama da alocação dos processos para estação 1L, situação inicial

Tabela D.1 Principais processos da estação 1L, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
2	Processo de preparação do objecto 1L.1	1 à 3	17	17
3	Processo de preparação do objecto 1L.2	4 à 5	13	13
8	Processo de colocação dos objectos 1L.3, 1L.4, 1L.5, 1L.6 e 1L.7	6 à 15	30	30
11	Processo de montagem do objecto 1L.2	16 à 24	58	58

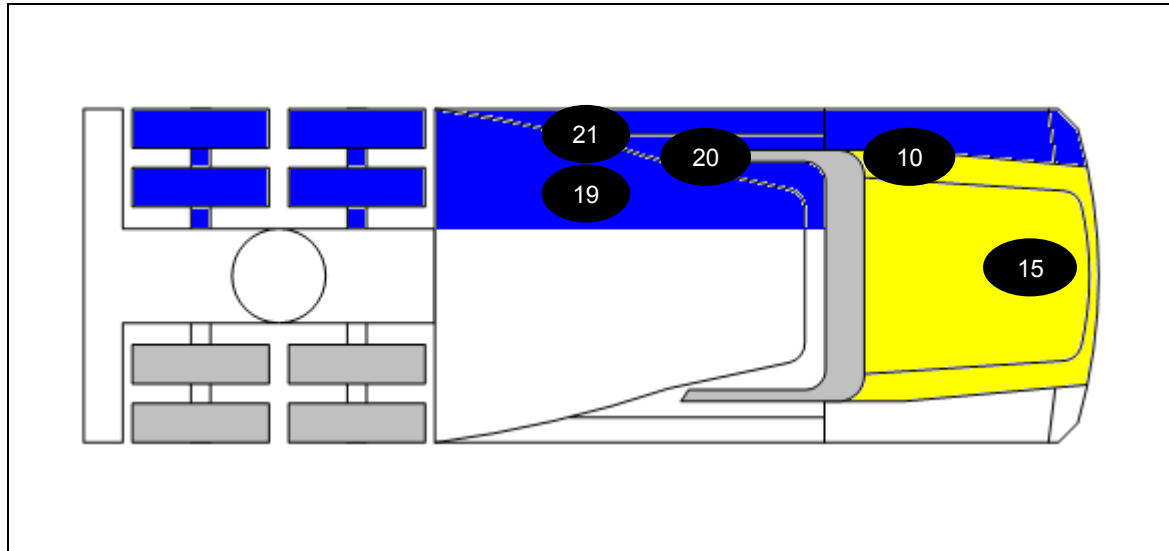
→ **Estação 2L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.2 Diagrama da alocação dos processos para estação 2L, situação inicial

Tabela D.2 Principais processos da estação 2L, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
15	Processo de montagem do objecto 2L.1	1 à 3	12	12
10	Processo de montagem do objecto 2L.2 e 2L.3	5 à 9	22	22
19	Processo de montagem dos objectos 2L.4, 2L.5 e 2L.6	10 à 22	53	38
20	Processo de utilização do equipamento 2L.1	23 à 31	30	30
21	Processo de montagem do objecto 2L.7	32 à 34	10	-

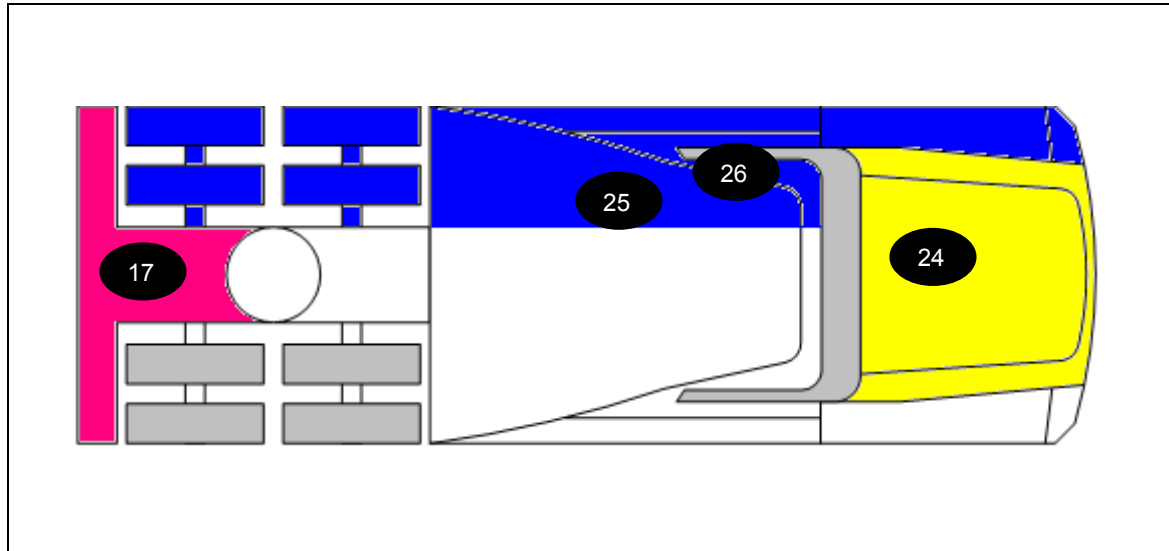
→ **Estação 3L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.3 Diagrama da alocação dos processos para estação 3L, situação inicial

Tabela D.3 Principais processos da estação 3L, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
25	Processo de colocação do objecto 3L.1 e 3L.2	1 à 5	-	43
26	Processo de montagem dos objectos da caixa	6 à 19	74	-
24	Processo de montagem dos objectos 3L.8 e 3L.9	20 à 25	37	37
17	Processo de montagem do objecto 3L.10	23 à 31	-	18

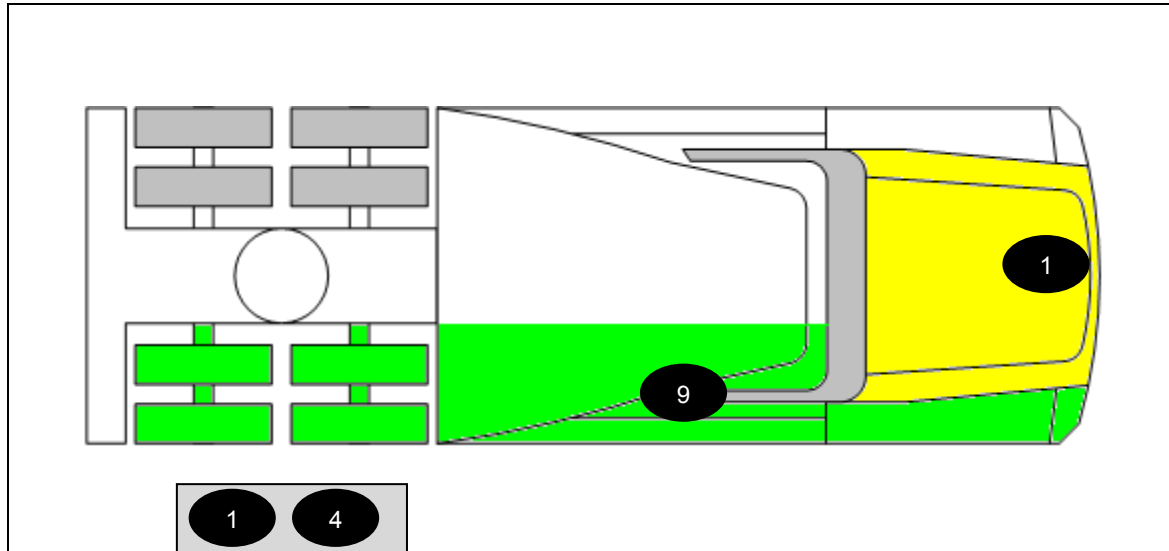
→ **Estação 0R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.4 Diagrama da alocação dos processos para estação 0R, situação inicial

Tabela D.4 Principais processos da estação 0R, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
1	Processo de preparação e montagem do objecto 0R.1	1 à 9	70	70
4	Processo de preparação do objecto 0R.3	11 à 12	13	13
9	Processo de montagem do objecto 0R.3	13 à 21	58	58



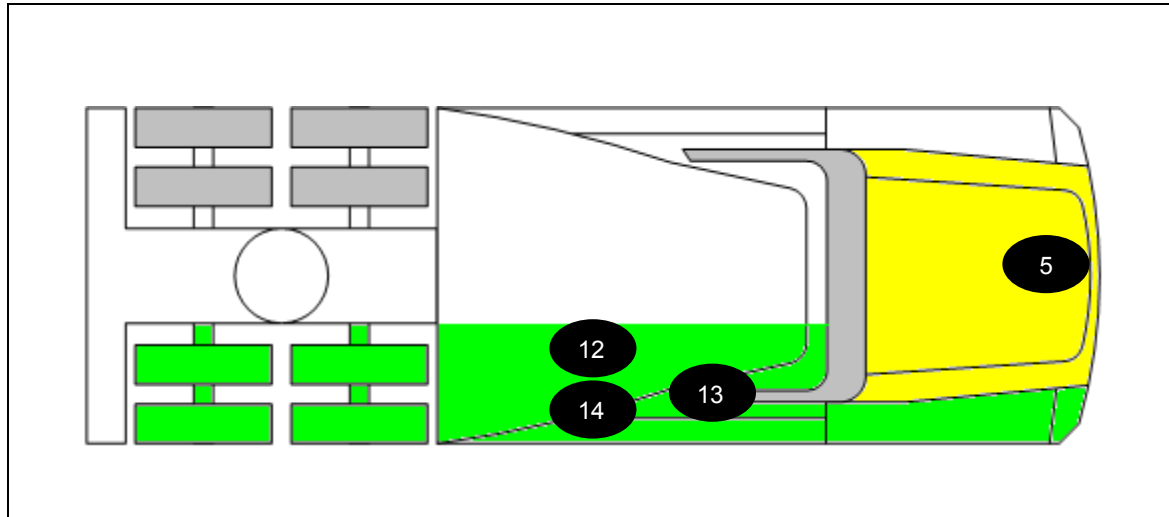
→ **Estação 1R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.5 Diagrama da alocação dos processos para estação 1R, situação inicial

Tabela D.5 Principais processos da estação 1R, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processo	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
5	Processo de montagem dos objectos 1R.1 e 1R.2	1 à 7	22	22
12	Processo de colocação dos objectos 1R.3, 1R.4 e 1R.5	9 à 23	53	38
13	Processo de utilização do equipamento 1R.1	24 à 30	30	30
14	Processo de montagem do objecto 1R.6	31 à 33	10	-

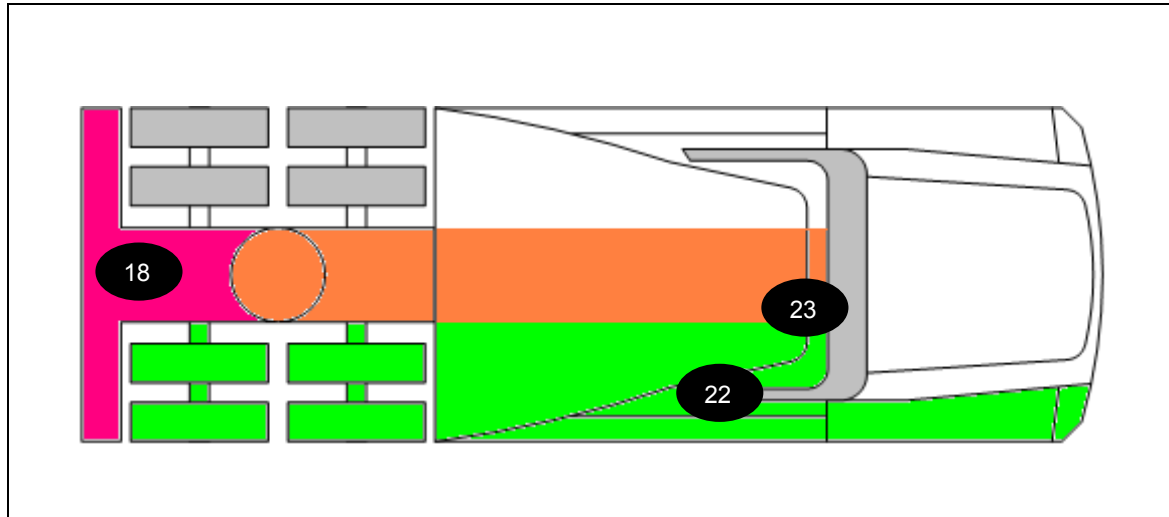
→ **Estação 3R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.6 Diagrama da alocação dos processos para estação 3R, situação inicial

Tabela D.6 Principais processos da estação 3R, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
23	Processo de montagem dos objectos 3R.1 e 3R.2	1 à 7	59	59
22	Processo de montagem dos objectos da caixa	9 à 22	74	-
18	Processo de utilização do objecto 3R.8	23 à 24	-	18

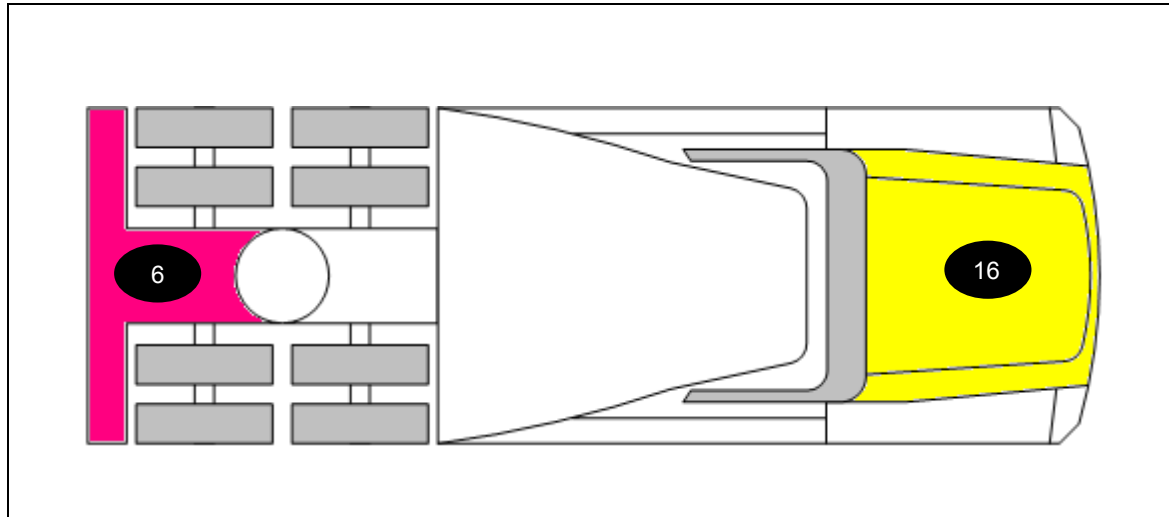
→ **Estação 1B:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.7 Diagrama da alocação dos processos para estação 1B, situação inicial

Tabela D.7 Principais processos da estação 1B, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
6	Processo de montagem dos objectos 1B.1 e 1B.2	1 à 7	65	65
16	Processo de montagem do objecto 1B.3	9 à 14	45	45

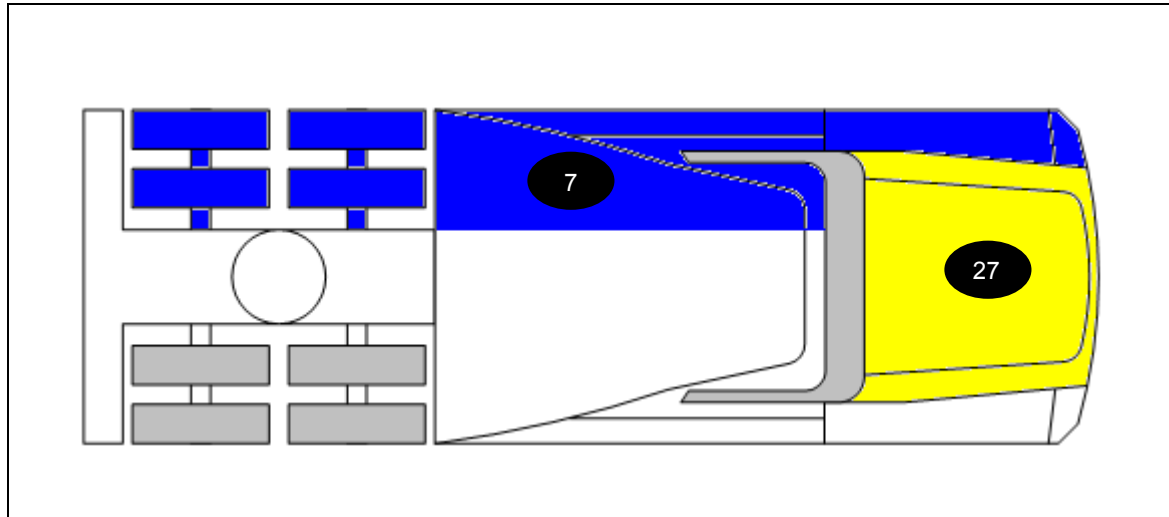
→ **Estação 4F:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura D.8 Diagrama da alocação dos processos para estação 4F, situação inicial

Tabela D.8 Principais processos da estação 4F, situação Inicial

Nº Processo	Principais Processos	Tarefas Agregadas	Duração	
			$\alpha$	$\beta$
27	Processo de montagem do objecto 4F.1	1 à 6	44	-
7	Processo de aplicação do objecto 4F.2	7 à 11	76	76

## Anexo E: Descrição do Processo da Situação Final

### → Estação 1L:

**Tempo de ciclo (seg): 116**

**Produção de  $\alpha$ : 75**

**Produção de  $\beta$ : 150**

**Produção Total: 225**

Tabela E.1 Descrição do processo final para a estação 1L

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Pega objecto 1L.2	$\alpha$ ; $\beta$	2
2	Prepara objecto 1L.2	$\alpha$ ; $\beta$	11
3	Coloca objecto 1L.2 no carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	4
4	Pega objecto 1L.1, 1L.3, 1L.4	$\alpha$ ; $\beta$	2
5	Pega objecto 1L.5 e 1L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
6	Coloca objecto 1L.1, 1L.6, 1L.3, 1L.4 e 1L.5 no carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	6
7	Pega objecto 2L.2, objecto 2L.3 e ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
8	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
9	Coloca objecto 1L.3, 1L.4 e 1L.5	$\alpha$ ; $\beta$	3
10	Monta objecto 2L.2 e objecto 2L.3	$\alpha$ ; $\beta$	5
11	Desloca-se ao carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	5
12	Pousa ferramenta 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
13	Pega carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	2
14	Atraca carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	6
15	Efectua operação na frente do produto	$\alpha$ ; $\beta$	12
16	Retira objecto 1L.7 do produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
17	Pega objecto 1L.1 e objecto 1L.6	$\alpha$ ; $\beta$	4
18	Coloca objecto 1L.1 e objecto 1L.6 no produto	$\alpha$ ; $\beta$	6
19	Pega objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	4
20	Pega ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
21	Monta objecto 1L.2 e objecto 1L.8	$\alpha$ ; $\beta$	18
22	Pousa ferramenta 1L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
23	Retoma ao produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	4

**Carga do modelo  $\alpha$ : 98,28%**

**Carga do modelo  $\beta$ : 98,28%**

**Carga média: 98,28%**

→ **Estação 2L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela E.2 Descrição do processo final para a estação 2L

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Desloca-se ao equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
2	Pega equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	1
3	Desloca-se ao produto com o equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	8
4	Pega ferramenta 2L.2 do equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
5	Utiliza ferramenta 2L.2	$\alpha$ ; $\beta$	2
6	Coloca ferramenta no equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
7	Utiliza equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	10
8	Pega equipamento 2L.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
9	Desloca o equipamento 2L.1 para a sua zona de repouso	$\alpha$ ; $\beta$	1
10	Pega objecto 2L.5, objecto 2L.7, objecto 4F.1 e ferramenta 4F.1	$\alpha$	10
11	Desloca-se ao produto	$\alpha$	5
12	Coloca objecto 2L.5 e objecto 2L.7	$\alpha$	6
13	Monta objecto 4F.1	$\alpha$	25
14	Desloca-se à lateral	$\alpha$	6
15	Pousa ferramenta 4F.1	$\alpha$	2
16	Pega objecto 2L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
17	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
18	Utiliza objecto 2L.6	$\alpha$ ; $\beta$	3
19	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	5
20	Pousa objecto 2L.6	$\alpha$ ; $\beta$	2
21	Desloca-se ao produto	$\beta$	6
22	Monta objecto 3L.10	$\beta$	12
23	Retoma ao produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	8

**Carga do modelo  $\alpha$ : 93,97%****Carga do modelo  $\beta$ : 62,93%****Carga média: 73,28%**

→ **Estação 3L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela E.3 Descrição do processo final para a estação 3L

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Atraca carro de apoio ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
2	Pega objecto 3L.1	$\beta$	2
3	Coloca objecto 3L.1	$\beta$	8
4	Pega objecto 3L.2	$\beta$	3
5	Monta objecto 3L.2	$\beta$	15
6	Pega objecto 4F.2	$\alpha$ ; $\beta$	12
7	Aplica objecto 4F.2	$\alpha$ ; $\beta$	54
8	Pega objecto 3L.3	$\alpha$	3
9	Monta objecto 3L.3	$\alpha$	9
10	Pega objecto 3L.4	$\alpha$	3
11	Monta objecto 3L.4	$\alpha$	6
12	Pega objecto 3L.5	$\alpha$	2
13	Monta objecto 3L.5	$\alpha$	6
14	Pega objecto 3L.6	$\alpha$	2
15	Monta objecto 3L.6	$\alpha$	7
16	Pega objecto 3L.7	$\alpha$	3
17	Monta objecto 3L.7	$\alpha$	8
18	Retira carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	6
19	Retoma ao produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	5

**Carga do modelo  $\alpha$ : 108,62%****Carga do modelo  $\beta$ : 93,97%****Carga média: 98,85%**

→ **Estação 0R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela E.4 Descrição do processo final para a estação 0R

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Desloca-se ao equipamento 0R.1	$\alpha; \beta$	2
2	Retira objecto 0R.1 do equipamento 0R.1	$\alpha; \beta$	5
3	Retira 4 objectos 0R.2	$\alpha; \beta$	8
4	Coloca 2 objectos 0R.2 no objecto 0R.1	$\alpha; \beta$	8
5	Pega 2 objectos 0R.2 e 0R.1 e coloca no carro de apoio	$\alpha; \beta$	5
6	Pega objecto 0R.3	$\alpha; \beta$	2
7	Prepara objecto 0R.3	$\alpha; \beta$	11
8	Pega objecto 0R.3 e objecto 0R.4	$\alpha; \beta$	3
9	Coloca objecto 0R.3 e objecto 0R.4 no carro de apoio	$\alpha; \beta$	4
10	Desloca-se com o carro de apoio ao produto	$\alpha; \beta$	3
11	Coloca objecto 0R.1 no produto	$\alpha; \beta$	15
12	Coloca 2 objecto 0R.2 no produto	$\alpha; \beta$	10
13	Monta objecto 0R.3 e objecto 0R.4	$\alpha; \beta$	16
14	Pega ferramenta 0R.1	$\alpha; \beta$	1
15	Aperta objecto 0R.3 e 0R.4	$\alpha; \beta$	18
16	Pousa a ferramenta 0R.1	$\alpha; \beta$	1
17	Desloca o carro de apoio para o carro seguinte	$\alpha; \beta$	3

**Carga do modelo  $\alpha$ : 99,14%****Carga do modelo  $\beta$ : 99,14%****Carga média: 99,14%**



→ **Estação 1R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela E.5 Descrição do processo final para a estação 1R

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Desloca-se ao equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
2	Pega equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	1
3	Desloca-se ao produto com o equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	8
4	Pega ferramenta 1R.1 do equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
5	Utiliza ferramenta 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
6	Coloca ferramenta no equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
7	Utiliza equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	10
8	Pega equipamento 1R.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
9	Desloca o equipamento 1R.1 para a sua zona de repouso	$\alpha$ ; $\beta$	1
10	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	4
11	Pega objecto 1R.3	$\alpha$ ; $\beta$	4
12	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
13	Monta objecto 1R.3	$\alpha$ ; $\beta$	6
14	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	6
15	Pega objecto 1R.4	$\alpha$	2
16	Desloca-se ao produto	$\alpha$	5
17	Coloca objecto 1R.4	$\alpha$	3
18	Desloca-se à lateral	$\alpha$	5
19	Pega objecto 1R.5	$\alpha$ ; $\beta$	2
20	Desloca-se ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	5
21	Utiliza objecto 1R.5	$\alpha$ ; $\beta$	3
22	Desloca-se à lateral	$\alpha$ ; $\beta$	5
23	Pousa objecto 1R.5	$\alpha$ ; $\beta$	2
24	Desloca-se para o produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	6

**Carga do modelo  $\alpha$ : 80,17%****Carga do modelo  $\beta$ : 67,24%****Carga média: 71,55%**

→ **Estação 3R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela E.6 Descrição do processo final para a estação 3R

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Atraca carro de apoio ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
2	Pega objecto 3R.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
3	Monta objecto 3R.1	$\alpha$ ; $\beta$	20
4	Pega objecto 3R.2	$\alpha$ ; $\beta$	4
5	Monta objecto 3R.2	$\alpha$ ; $\beta$	18
6	Pega objecto 1R.6	$\alpha$	4
7	Monta objecto 1R.6	$\alpha$	4
8	Pega objecto 3R.3	$\alpha$	3
9	Monta objecto 3R.3	$\alpha$	9
10	Pega objecto 3R.4	$\alpha$	2
11	Monta objecto 3R.4	$\alpha$	6
12	Pega objecto 3R.5	$\alpha$	2
13	Monta objecto 3R.5	$\alpha$	6
14	Pega objecto 3R.6	$\alpha$	2
15	Monta objecto 3R.6	$\alpha$	7
16	Pega objecto 3R.7	$\alpha$	2
17	Monta objecto 3R.7	$\alpha$	8
18	Retira carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	2
19	Desloca-se ao produto	$\beta$	4
20	Monta objecto 3R.8	$\beta$	12
21	Desloca-se para o produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	6

**Carga do modelo  $\alpha$ : 97,41%****Carga do modelo  $\beta$ : 63,79%****Carga média: 75,00%**

→ **Estação 1B:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Tabela E.7 Descrição do processo final para a estação 1B

Nº Tarefa	Descrição de operações	Modelo	Tempo (seg)
1	Atraca carro de apoio ao produto	$\alpha$ ; $\beta$	4
2	Pega objecto 1R.1 e 1R.2	$\alpha$ ; $\beta$	3
3	Monta objecto 1R.1 e 1R.2	$\alpha$ ; $\beta$	8
4	Pega objecto 3R.8, 3R.9 e ferramenta 3R.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
5	Monta objecto 3R.8 e objecto 3R.9	$\alpha$ ; $\beta$	12
6	Pousa ferramenta 3R.1	$\alpha$ ; $\beta$	1
7	Pega objecto 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	4
8	Monta objecto 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	22
9	Pega objecto 1B.2	$\alpha$ ; $\beta$	4
10	Monta objecto 1B.2	$\alpha$ ; $\beta$	20
11	Pega ferramenta 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	2
12	Monta objecto 1B.3 com ferramenta 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	24
13	Pousa ferramenta 1B.1	$\alpha$ ; $\beta$	1
14	Retira carro de apoio	$\alpha$ ; $\beta$	4
15	Desloca-se ao produto seguinte	$\alpha$ ; $\beta$	2

**Carga do modelo  $\alpha$ : 99,14%****Carga do modelo  $\beta$ : 99,14%****Carga média: 99,14%**

## Anexo F: Diagrama de Esparguete da Situação Final

→ Estação 1L:

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

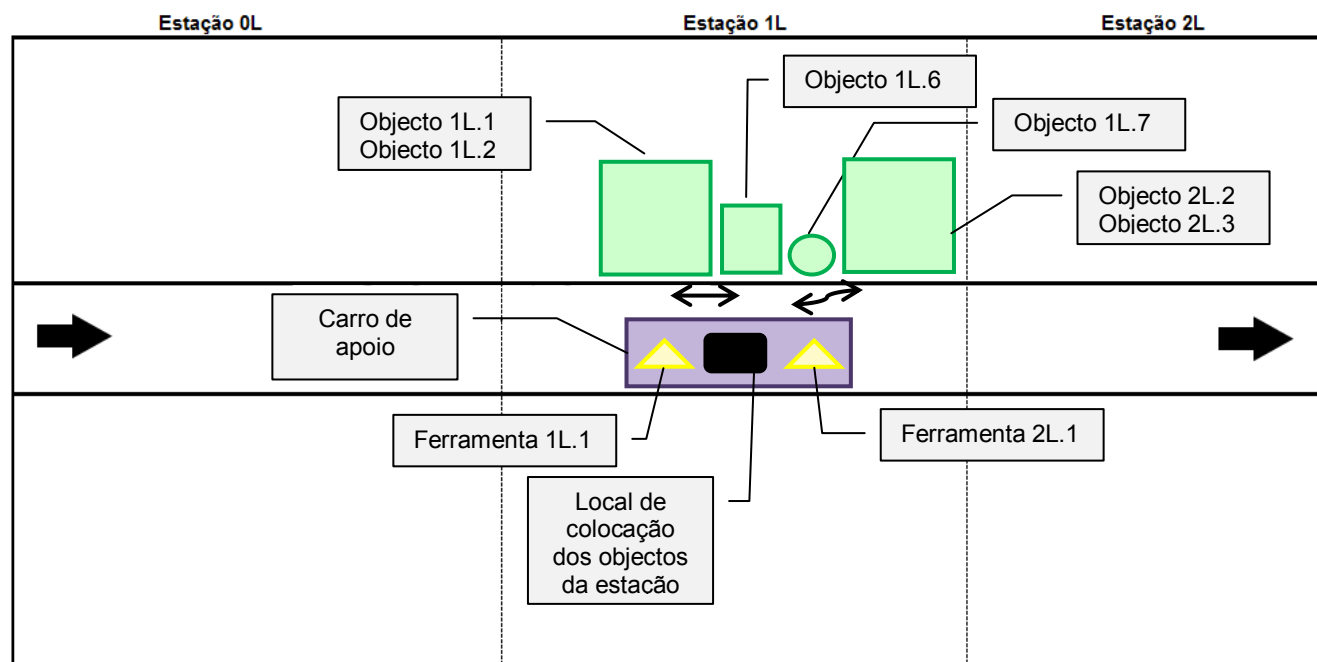


Figura F.1 Diagrama de esparguete da estação 1L, situação final

→ Estação 2L:

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

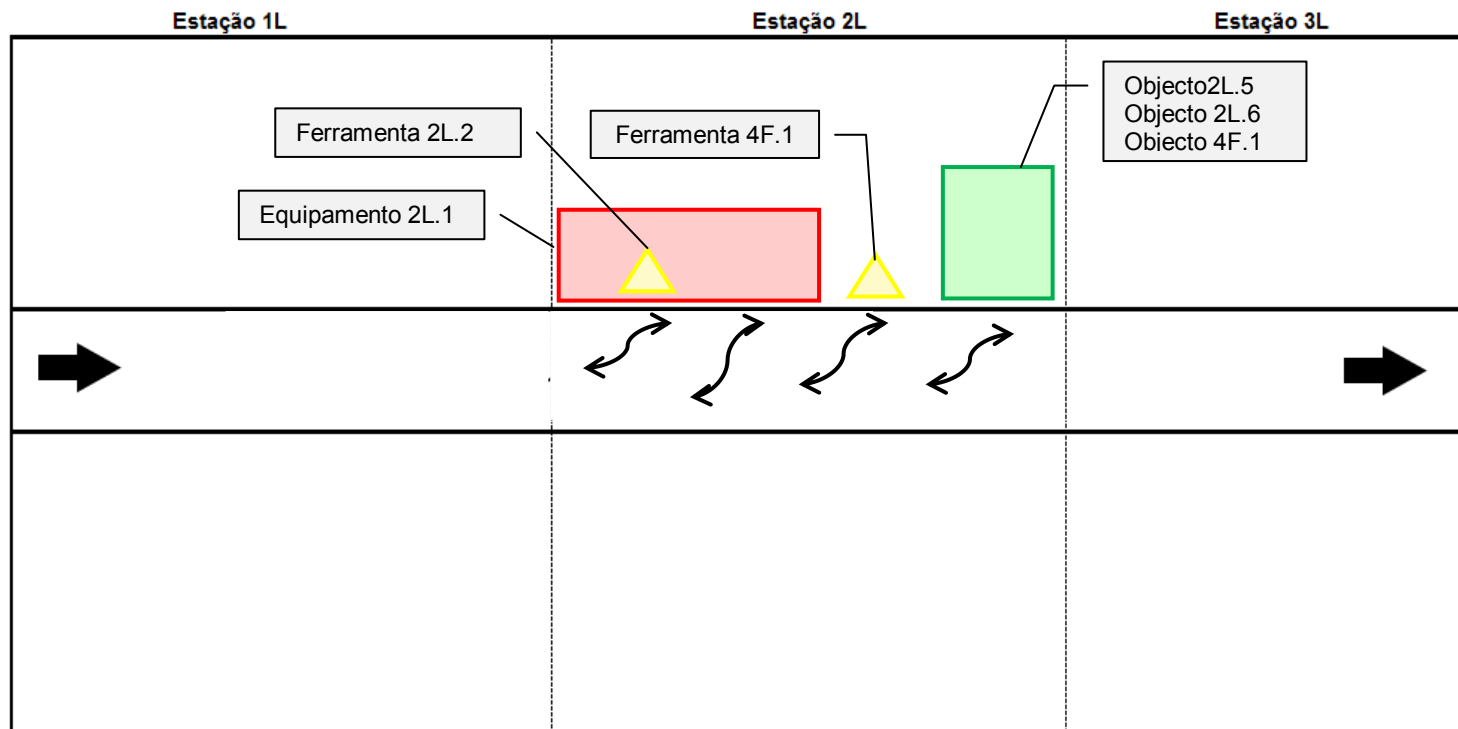


Figura F.2 Diagrama de esparguete da estação 2L, situação final

→ Estação 3L:

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

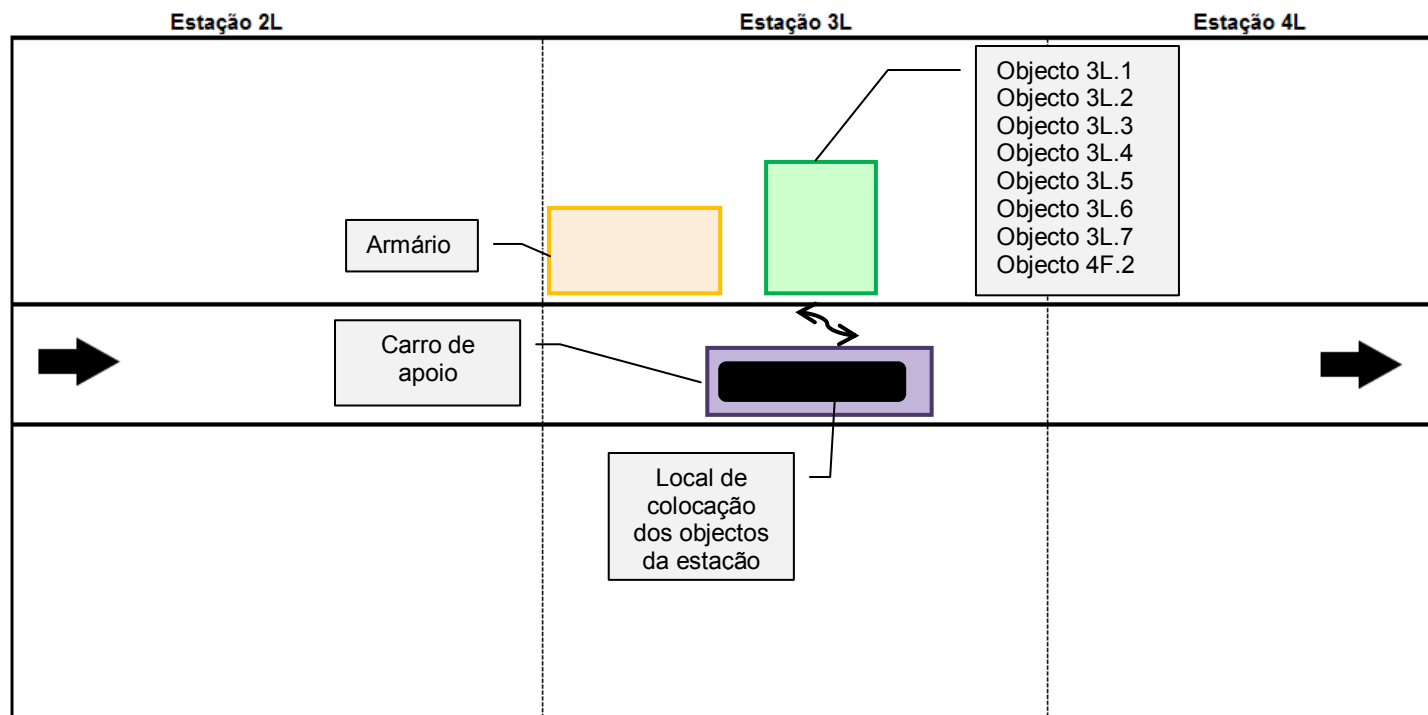


Figura F.3 Diagrama de esparguete da estação 3L, situação final

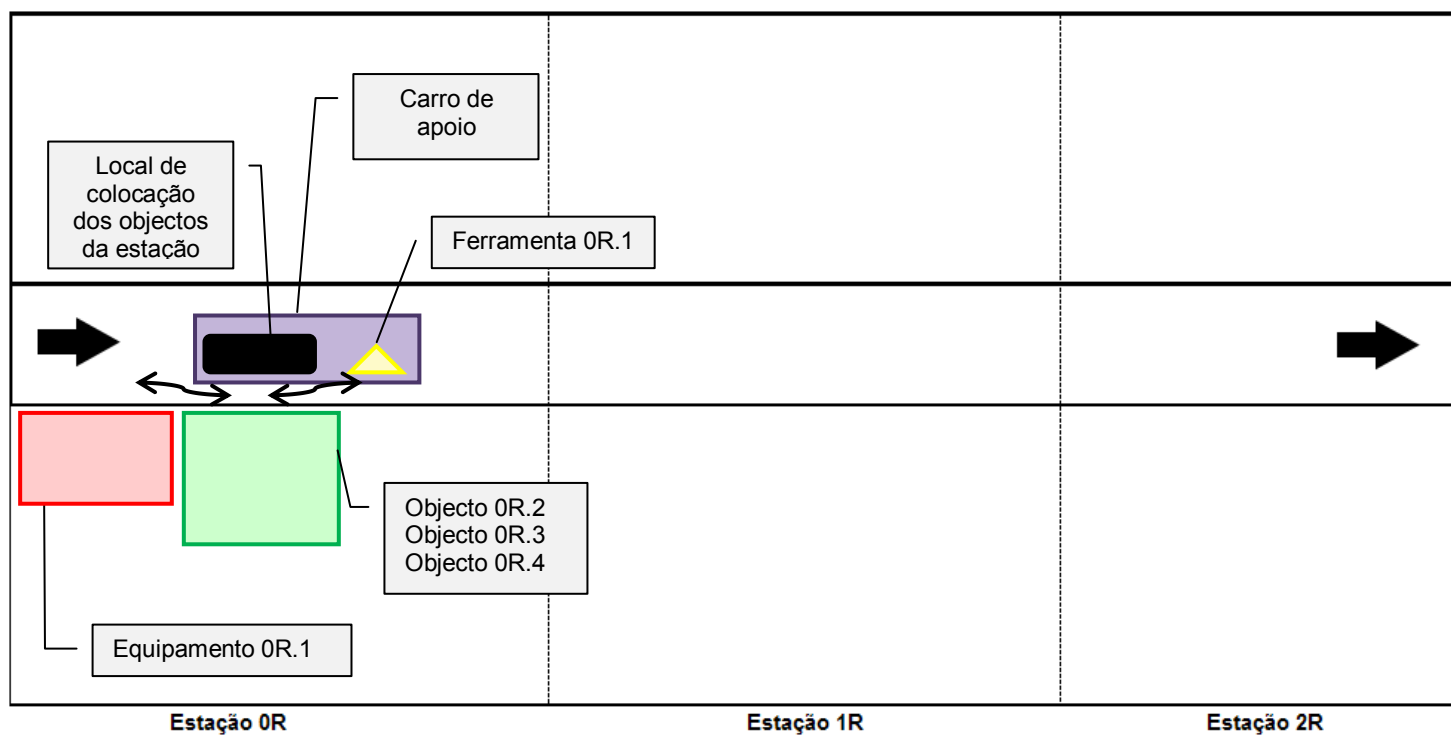
→ **Estação 0R:****Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$ 

Figura F.4 Diagrama de esparguete da estação 0R, situação final

→ **Estação 1R:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

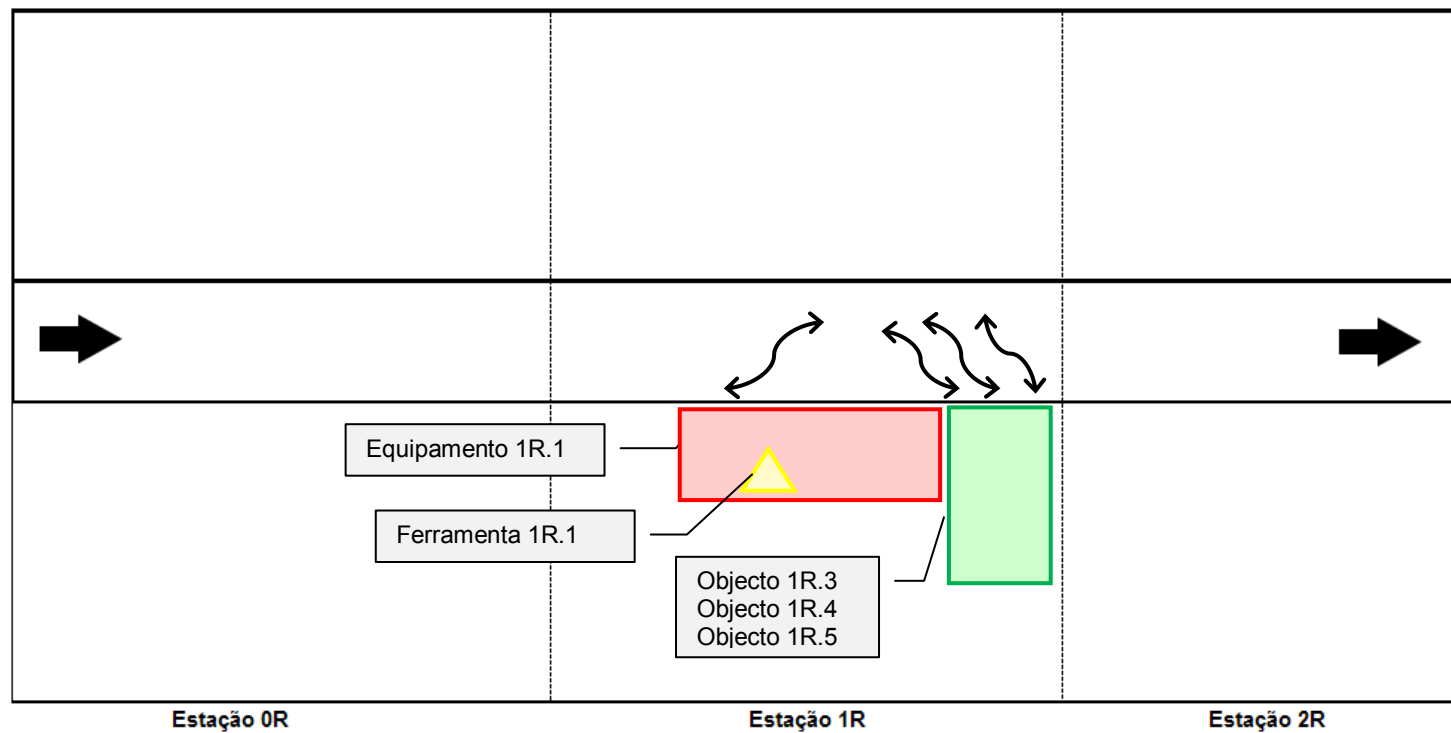


Figura F.5 Diagrama de esparguete da estação 1R, situação final



→ **Estação 3R:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

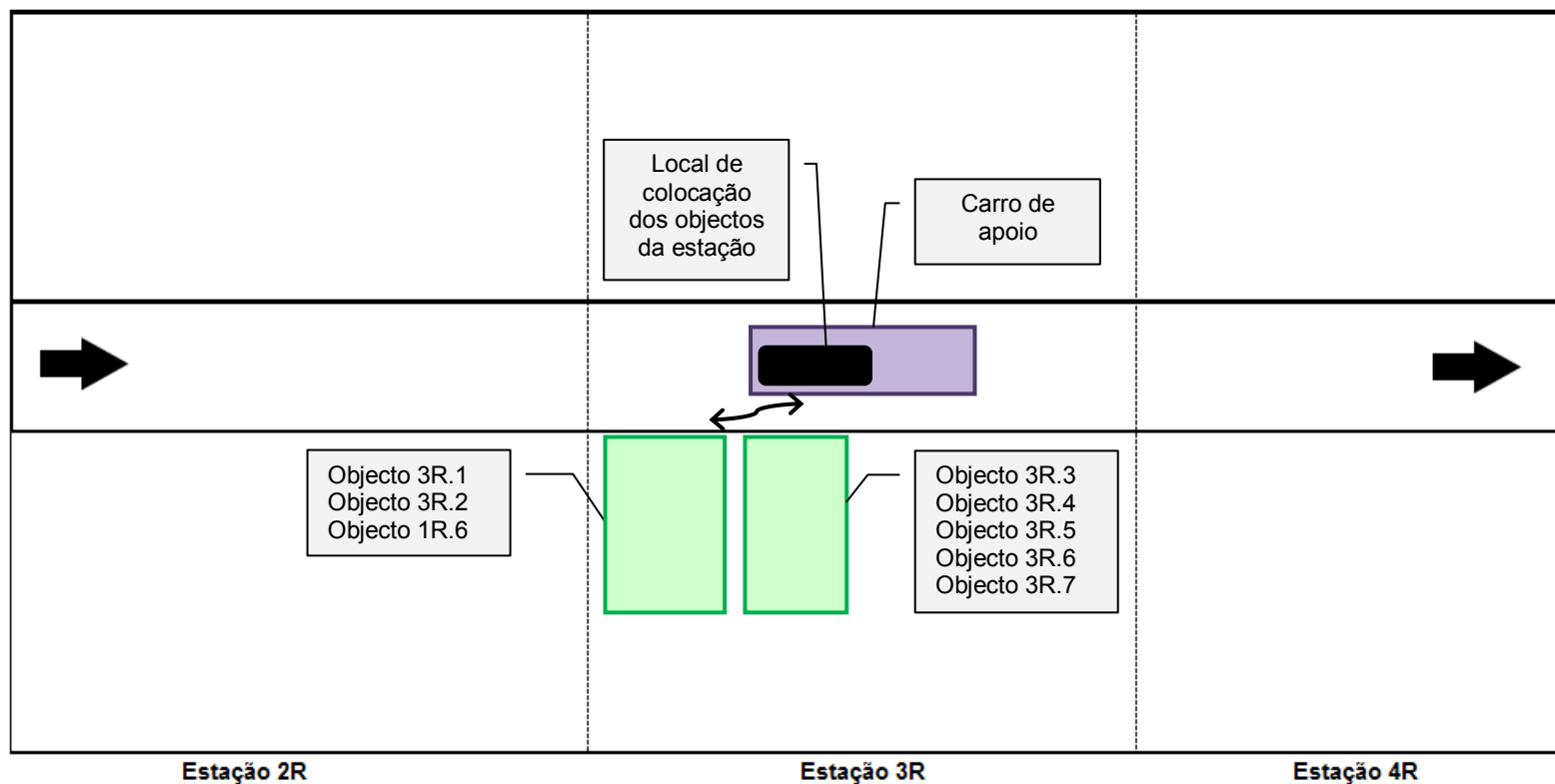


Figura F.6 Diagrama de esparguete da estação 3R, situação final

→ **Estação 1B:**

**Linha de Montagem:** Produtos  $\alpha$  e  $\beta$

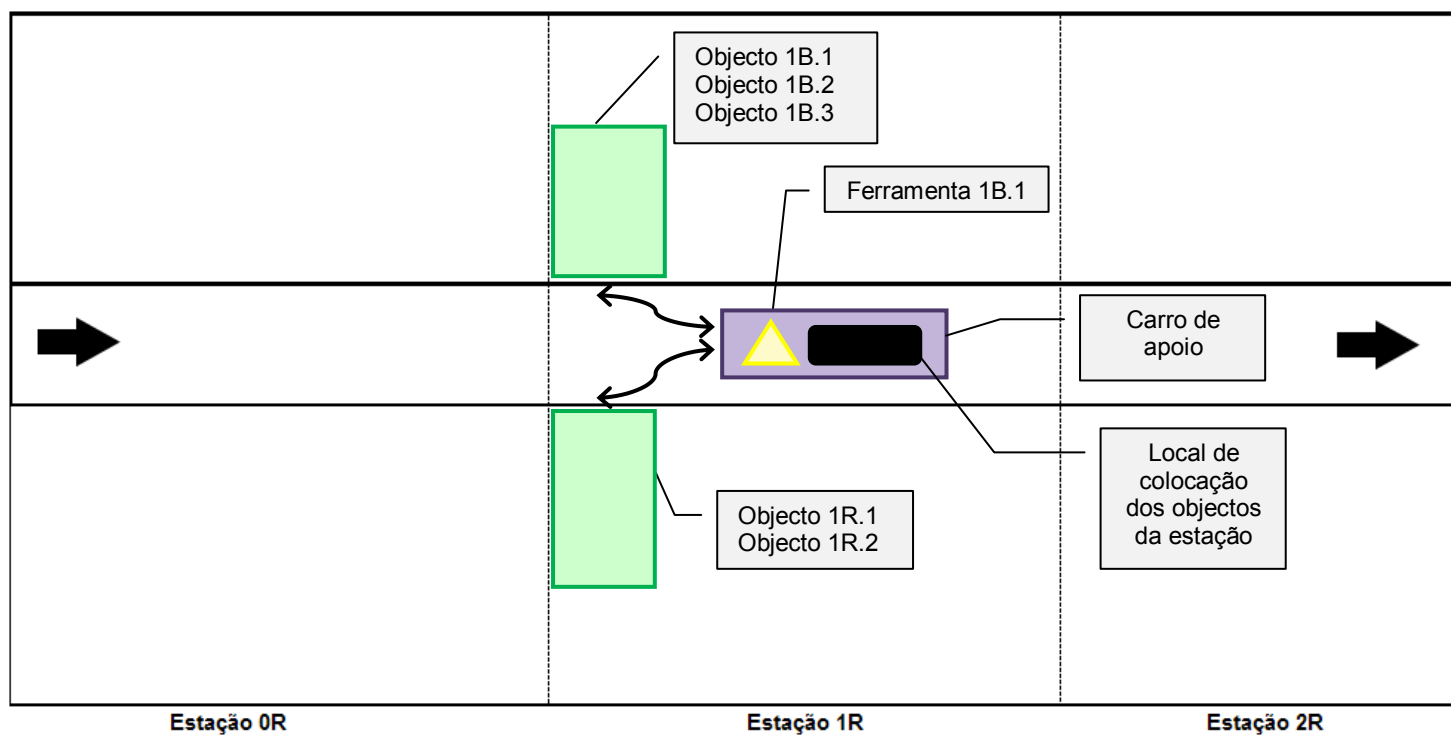


Figura F.7 Diagrama de esparguete da estação 1B, situação final

## Anexo G: Alocação das tarefas à zona do produto, Situação Final

### → Estação 1L:

**Tempo de ciclo (seg):** 116

**Produção de  $\alpha$ :** 75

**Produção de  $\beta$ :** 150

**Produção Total:** 225

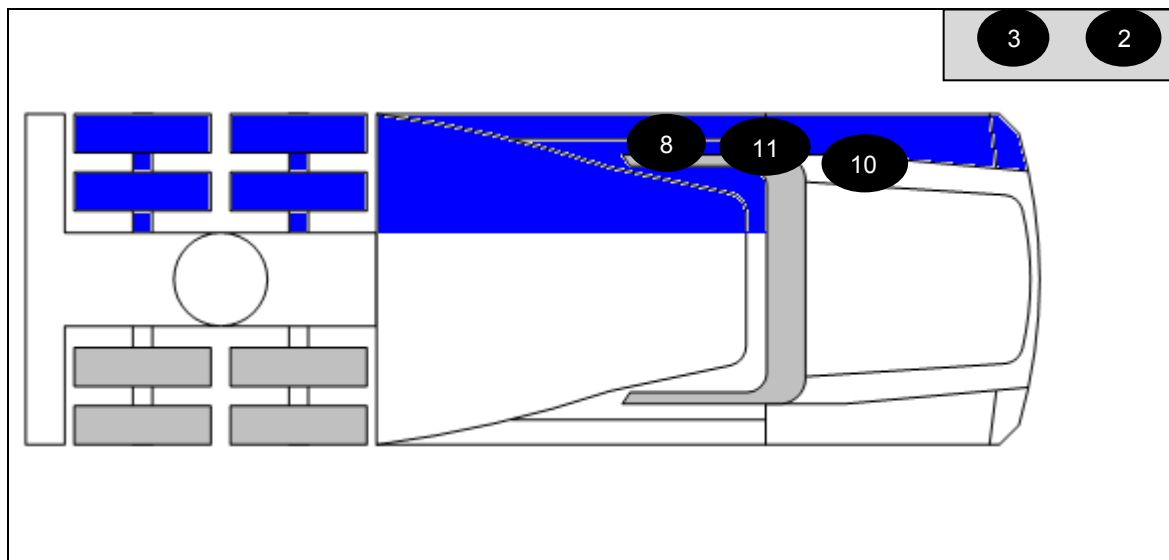


Figura G.1 Diagrama da alocação dos processos para estação 1L, situação final

Tabela G.1 Principais processos da estação 1L, situação final

Nº Processo	Principais Processos
2	Processo de preparação do objecto 1L.1
3	Processo de preparação do objecto 1L.2
8	Processo de colocação dos objectos 1L.3, 1L.4, 1L.5, 1L.6 e 1L.7
11	Processo de montagem do objecto 1L.2
10	Processo de montagem do objecto 2L.2 e 2L.3

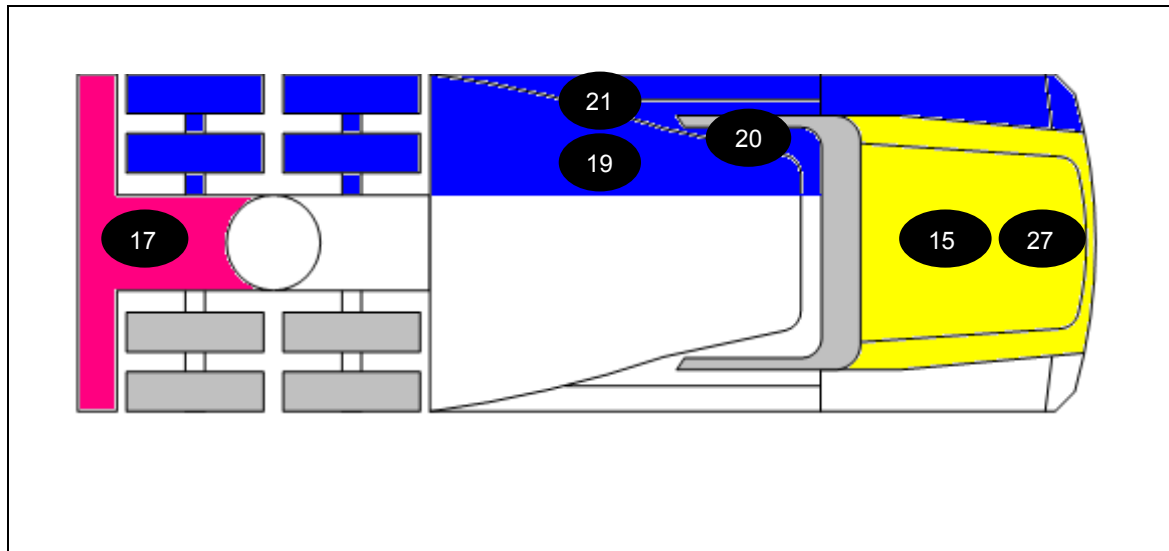
→ **Estação 2L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura G.2 Diagrama da alocação dos processos para estação 2L, situação final

Tabela G.2 Principais processos da estação 2L, situação final

Nº Processo	Principais Processos
15	Processo de montagem do objecto 2L.1
19	Processo de montagem dos objectos 2L.4, 2L.5 e 2L.6
20	Processo de utilização do equipamento 2L.1
21	Processo de montagem do objecto 2L.7
27	Processo de montagem do objecto 4F.1
17	Processo de montagem do objecto 3L.10

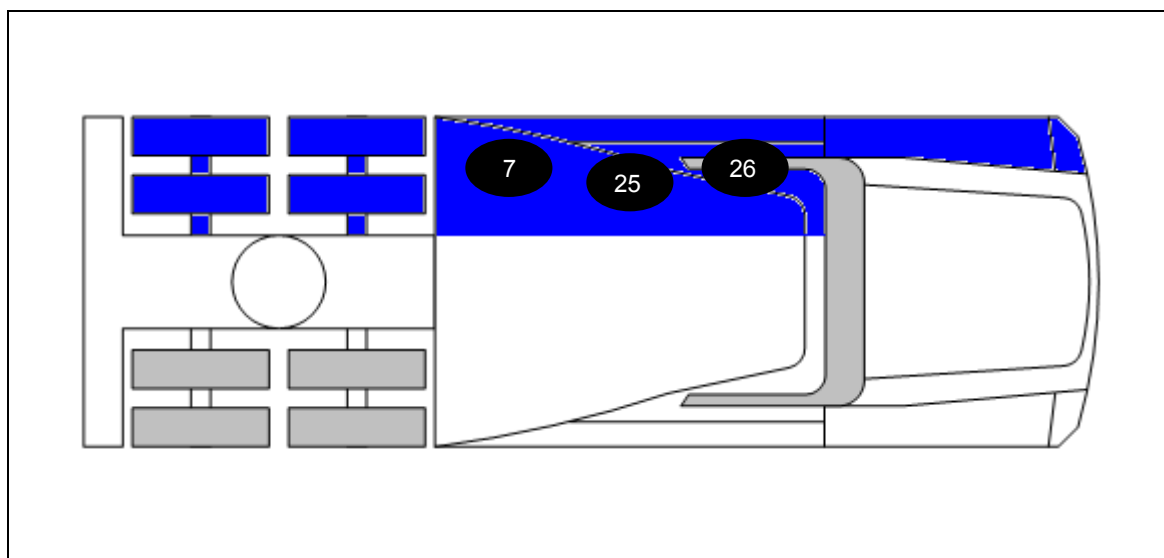
→ **Estação 3L:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura G.3 Diagrama da alocação dos processos para estação 3L, situação final

Tabela G.3 Principais processos da estação 3L, situação final

Nº Processo	Principais Processos
25	Processo de colocação do objecto 3L.1 e 3L.2
26	Processo de montagem dos objectos da caixa
7	Processo de aplicação do objecto 4F.2

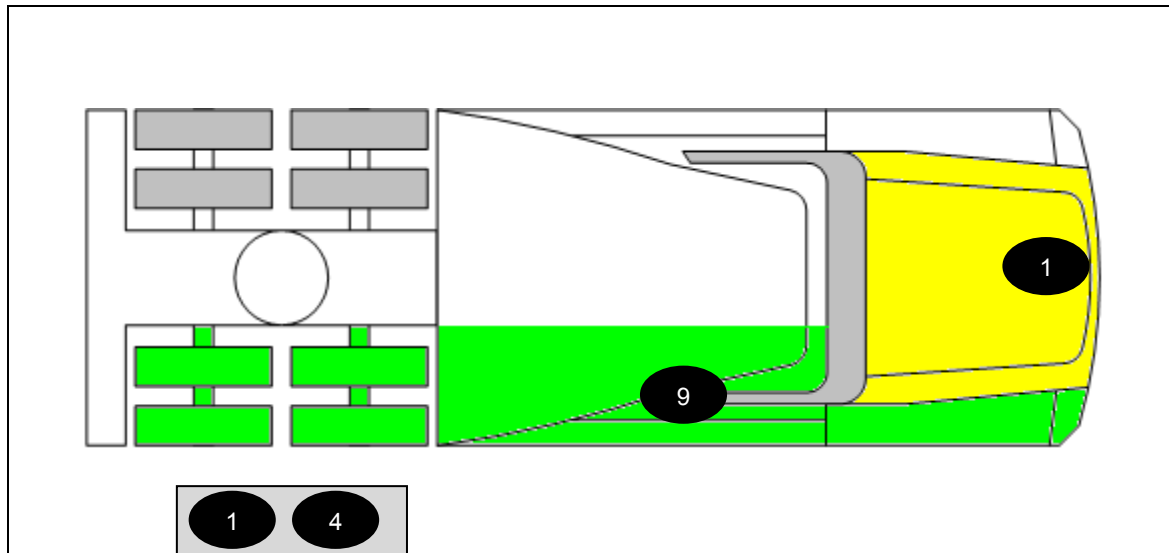
→ **Estação 0R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura G.4 Diagrama da alocação dos processos para estação 0R, situação final

Tabela G.4 Principais processos da estação 0R, situação final

Nº Processo	Principais Procesos
1	Processo de preparação e montagem do objecto 0R.1
4	Processo de preparação do objecto 0R.3
9	Processo de montagem do objecto 0R.3

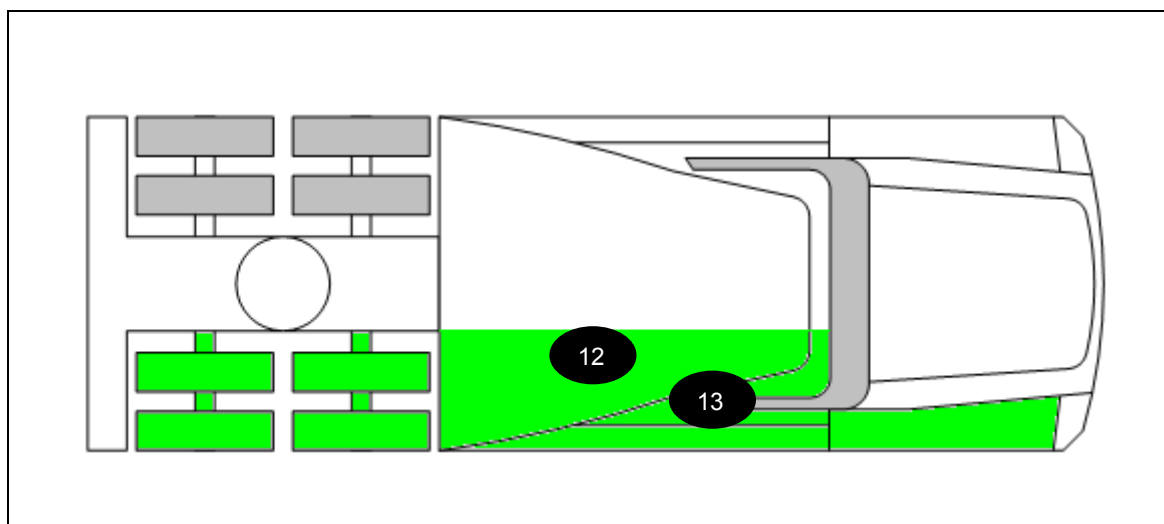
→ **Estação 1R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura G.5 Diagrama da alocação dos processos para estação 1R, situação final

Tabela G.5 Principais processos da estação 1R, situação final

Nº Processo	Principais Processos
12	Processo de colocação dos objectos 1R.3, 1R.4 e 1R.5
13	Processo de utilização do equipamento 1R.1

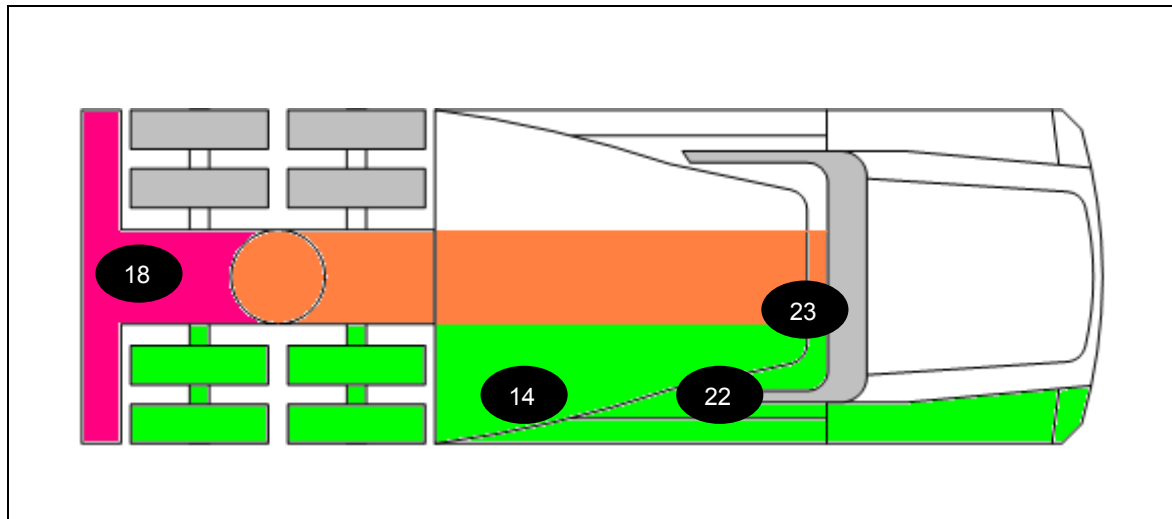
→ **Estação 3R:****Tempo de ciclo (seg): 116****Produção de  $\alpha$ : 75****Produção de  $\beta$ : 150****Produção Total: 225**

Figura G.6 Diagrama da alocação dos processos para estação 3R, situação final

Tabela G.6 Principais processos da estação 3R, situação final

Nº Processo	Principais Processos
23	Processo de montagem dos objectos 3R.1 e 3R.2
22	Processo de montagem dos objectos da caixa
18	Processo de utilização do objecto 3R.8
14	Processo de montagem do objecto 1R.6



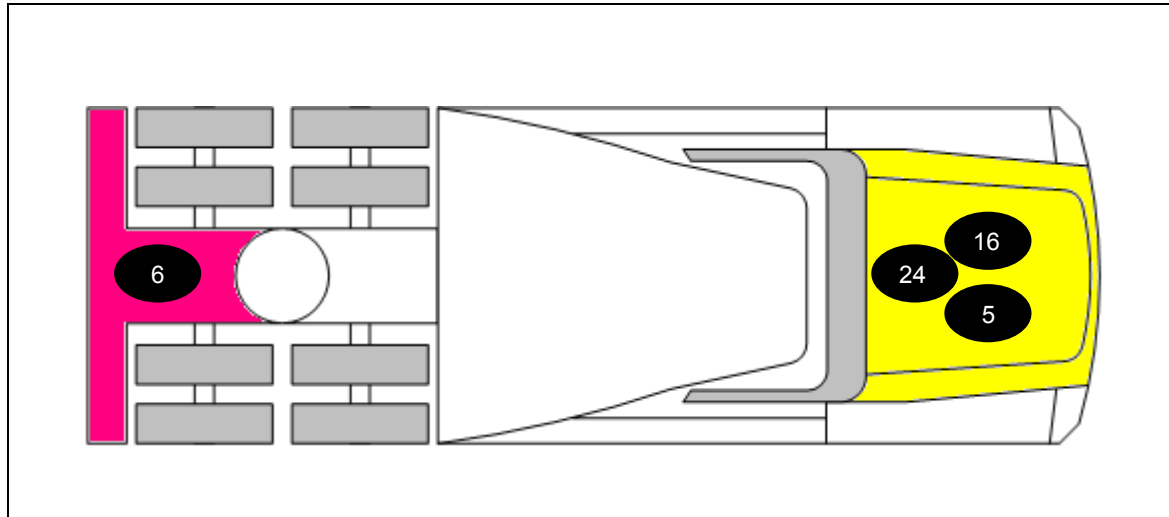
→ **Estação 1B:****Tempo de ciclo (seg):** 116**Produção de  $\alpha$ :** 75**Produção de  $\beta$ :** 150**Produção Total:** 225

Figura G.7 Diagrama da alocação dos processos para estação 1B, situação final

Tabela G.7 Principais processos da estação 1B, situação final

Nº Processo	Principais Processos
6	Processo de montagem dos objectos 1B.1 e 1B.2
16	Processo de montagem do objecto 1B.3
24	Processo de montagem dos objectos 3L.8 e 3L.9
5	Processo de montagem dos objectos 1R.1 e 1R.2